

صلى الله عليه وسلم



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه قدرت

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تجدید آرایش در شبکه‌های توزیع در حضور منابع تولید پراکنده با هدف بهبود قابلیت اطمینان

دانشجو:

فاضل عباسی

استاد راهنما:

دکتر مهدی بانژاد

استاد مشاور:

دکتر رحمت‌الله هوشمند

تابستان ۹۲

تقدیم به:

خانواده عزیزم،

خانواده‌ای که در آن پدر و مادر دلسوزی و وجود دارد که برای رشد و خوشبختی فرزندان، بخصوص بنده، فداکارانه زحمت می‌کشند و از هیچ کوششی دریغ نمی‌کنند و همین تلاش مستمر آنان سبب شده است تا در محیطی شاد توأم با آرامش، در راه کسب علم و دانش و یادگیری درس زندگی، تلاش نمایم و خانواده‌ای که در آن خواهران مهربانی و وجود دارد که همواره دست مرا گرفتند و مرا از کنجینه تجربیات خود بی‌نصیب نگذاشته‌اند و در آخر این پایان نامه را تقدیم می‌کنم به

همه جوانان و آزادگان و تمامی رهپویان راه علم و معرفت که برای کشف حقیقت همواره در تکتاپو تلاشند.

تقدیر و تشکر:

قبل از هر چیز خدای بزرگ را به خاطر نعمات فراوانی که به بنده عطا کرده است و به خاطر اینکه مرا در دوراهی‌های حساس زندگی به سمتی هدایت کرد که با رفتن آن راه‌ها احساس پشیمانی نمی‌کنم سپاس می‌گویم و سپاس خدایی را که توفیق کسب علم و اندیشه را به من عطا کرده است تا با آن شاید اندکی جاده علم را به جلوتر برده باشم. لذا بر خود لازم می‌دانم از تمامی عزیزانی که در انجام این پایان‌نامه مرا یاری کردند تشکر و قدردانی کنم.

بدین وسیله از کلیه معلمان دوران مدرسه و اساتید گرانقدرم چه در دوره کارشناسی و چه در دوره کارشناسی ارشد که در انجام این پروژه زحمات همه آنان تأثیرگذار بوده است بینهایت سپاسگزاری کنم. به ویژه از جناب آقای دکتر بانژاد استاد راهنمای بنده که در طول مدت دوره کارشناسی ارشد و بخصوص در زمان انجام پایان‌نامه درس‌های بزرگی از ایشان گرفته‌ام و جناب آقای دکتر هوشمند استاد مشاور بنده که از مشورت‌های ایشان حداکثر بهره را برده‌ام کمال تشکر را دارم. لازم می‌دانم از آقای دکتر رحیمیان که بنده منش و آزادگی ایشان را همواره سرلوحه کار خود قرار می‌دهم قدردانی کنم و همین‌طور جناب آقای مهندس محمدرضا بقایی‌پور که راهنما و راه‌گشای بنده در اتمام و اکمال پایان‌نامه بوده‌اند کمال تقدیر و تشکر را بنمایم. در پایان بار دیگر از خانواده و دوستان خود، به خصوص دوستانی که توفیق آشنایی با آن‌ها را در دانشگاه صنعتی شاهرود و صنعتی نوشیروانی بابل بدست آورده‌ام، به خاطر اینکه با یاری و راهنمایی‌هایشان، بسیاری از سختی‌ها را برایم آسان‌تر نمودند تشکر کنم و این قدردانی را با یاد و گرامی‌باد همه شهدای آزاده، از ابتدای تاریخ بشریت تاکنون که برای نجات خوبی‌ها و دفع بدی‌ها جان داده‌اند به پایان می‌رسانم.

فاضل عباسی

۱۳۹۲

تعهد نامه

اینجانب...فاضل عباسی... دانشجوی دوره ...کارشناسی ارشد... رشته ... مهندسی برق-قدرت... دانشکده برق و ریاضیات دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه...تجدید آرایش در حضور منابع تولید پراکنده در شبکه های توزیع با هدف بهبود قابلیت اطمینان... تحت راهنمایی ...دکتر مهدی بانژاد...متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ: ۱۳۹۲/۰۶/۲۵

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

پیشرفت علم، مشکلات اقتصادی، آلودگی محیط زیست و از بین رفتن سوخت‌های فسیلی از جمله عواملی است که بشر را به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و منابع تولید پراکنده¹ سوق داده است. از این رو متخصصان به بررسی رفتار سیستم‌های قدرت در حضور منابع تولید پراکنده روی آوردند چرا که در صورت استفاده نادرست این منابع در شبکه برق، علاوه بر این که هیچ فایده‌ای نخواهد داشت بلکه می‌تواند اثرات منفی هم بر روی سیستم توزیع و کیفیت برق مشتریان داشته باشد. سیستم‌های توزیع بصورت حلقوی طراحی می‌شوند اما به صورت شعاعی بهره‌برداری می‌شوند و اتصال این منابع به سیستم توزیع می‌تواند به میزان زیادی روی جریان و توان خطوط و اندازه ولتاژ مصرف‌کننده‌ها تأثیر گذارد. قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع یکی از اهدافی است که توجه بسیاری از محققان و کارکنان شرکت‌های برق را به خود جلب کرده است زیرا افزایش قابلیت اطمینان علاوه بر اینکه می‌تواند به لحاظ اقتصادی برای شرکت‌های توزیع بسیار باصرفه باشد رضایتمندی مشتریان را هم به همراه می‌آورد. یکی از مواردی که توجه به آن می‌تواند قابلیت اطمینان سیستم توزیع را تا حد زیادی بهبود بخشد و همین‌طور تلفات سیستم را کاهش دهد، آرایش سیستم و مکان منابع تولید پراکنده است. آرایش سیستم و مکان منابع تولید پراکنده به یکدیگر وابسته‌اند یعنی برای آرایش‌های مختلف سیستم توزیع، مکان‌های مختلفی برای منابع تولید پراکنده پیدا می‌شود و بالعکس. بنابراین برنامه‌ریزان و بهره‌برداران شبکه توزیع برای بهبود قابلیت اطمینان و کاهش تلفات، باید تأثیر آرایش سیستم و مکان منابع تولید پراکنده را بطور همزمان در نظر بگیرند.

¹ Distributed Generation (DG)

در این پایان‌نامه ابتدا سعی شده است، روشی برای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع در حضور منابع تولید پراکنده شرح داده شود و سپس با تجدید آرایش^۱ و جابجایی همزمان منابع تولید پراکنده^۲، یکی از شاخص‌های قابلیت اطمینان (انرژی تغذیه نشده^۳) و تلفات شبکه بهبود داده شود. با توجه به اینکه انرژی تغذیه نشده و تلفات با هم رابطه عکس دارند لذا از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه باید استفاده کرد. الگوریتم مورد استفاده در این پایان‌نامه، الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه^۴ است که جواب‌های مسئله را در قالب جبهه پارتو نمایش می‌دهد.

در پایان، روش ارائه‌شده بر روی دو سیستم نمونه در دو سناریوی مختلف، یکبار بدون DG و یکبار هم در حضور DG پیاده‌سازی می‌شود تا کارایی روش پیشنهادی اثبات شود. نتایج حاصل در دو سناریوی مختلف تأثیر DG و همین‌طور کارایی الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی

سیستم توزیع، تولید پراکنده، قابلیت اطمینان، تجدید آرایش، جابجایی DG، انرژی تغذیه نشده، الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲

¹ Reconfiguration

² DG Placement

³ Energy Not Supply (ENS)

⁴ Nondominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

مقدمه..... ۲

فصل دوم: مروری بر عوامل مؤثر در تجدید آرایش

۱-۲ مقدمه..... ۶

۲-۲ تولید پراکنده..... ۷

۱-۲-۲ تعریف منابع تولید پراکنده..... ۸

۲-۲-۲ تعاریف مرتبط با تولید پراکنده..... ۹

۳-۲-۲ مزایا و اثرات تولید پراکنده..... ۱۲

۴-۲-۲ طبقه‌بندی منابع تولید پراکنده بر اساس قدرت نامی..... ۱۳

۳-۲ قابلیت اطمینان..... ۱۷

۱-۳-۲ تعریف قابلیت اطمینان..... ۱۸

۲-۳-۲ هزینه در قابلیت اطمینان..... ۱۹

۳-۳-۲ قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع..... ۲۰

۱-۳-۳-۲ شاخص‌های قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع..... ۲۲

۱-۱-۳-۳-۲ شاخص‌های مربوط به مصرف‌کننده..... ۲۳

۲-۱-۳-۳-۲ شاخص‌های مربوط به بار و انرژی..... ۲۵

۴-۳-۲ تأثیر تولید پراکنده بر قابلیت اطمینان..... ۲۷

۴-۲ تجدید آرایش..... ۲۷

۲۷.....	۱-۴-۲ تعاریف.....
۳۳.....	۲-۴-۲ اهداف و مزایای تجدید آرایش.....
۳۳.....	۱-۲-۴-۲ بازیابی بار و افزایش قابلیت اطمینان.....
۳۳.....	۲-۲-۴-۲ کاهش تلفات.....
۳۴.....	۳-۲-۴-۲ بهبود پروفیل ولتاژ و پایداری ولتاژ.....
۳۴.....	۴-۲-۴-۲ تعمیرات دوره‌ای تجهیزات و توسعه شبکه.....
۳۴.....	۵-۲-۴-۲ متعادل نمودن بار خطوط توزیع.....
۳۵.....	۳-۴-۲ مروری بر کارهای گذشته در زمینه تجدید آرایش.....
۳۸.....	۶-۲ خلاصه فصل.....

فصل سوم: پخش بار توزیع و الگوریتم هوشمند NSGA II

۴۰.....	۱-۳ مقدمه.....
۴۱.....	۲-۳ پخش بار توزیع.....
۴۲.....	۱-۲-۳ بیان گام به گام پخش بار توزیع.....
۴۹.....	۳-۳ الگوریتم هوشمند NSGA II.....
۵۱.....	۱-۳-۳ مفهوم غلبه.....
۵۲.....	۲-۳-۳ مفهوم مرتب‌سازی نامغلوب.....
۵۴.....	۳-۳-۳ مفهوم حفظ تنوع پاسخ‌ها (فاصله ازدحامی).....
۵۸.....	۴-۳ خلاصه فصل.....

فصل چهارم: بیان گام به گام مسئله تجدید آرایش و محاسبه قابلیت اطمینان

۱-۴ مقدمه..... ۶۰

۲-۴ تجدید آرایش به روش کدگذاری لبه پنجره..... ۶۱

۱-۲-۴ اهمیت روش کدگذاری لبه پنجره..... ۶۱

۲-۲-۴ فرمول بندی مسئله..... ۶۴

۳-۲-۴ استراتژی کدگذاری در الگوریتم تجدید آرایش لبه پنجره..... ۶۴

۴-۲-۴ جمعیت اولیه..... ۶۷

۵-۲-۴ عملگر برش..... ۶۷

۶-۲-۴ تست شعاعی بودن شبکه..... ۶۸

۷-۲-۴ عملگر جهش..... ۷۱

۸-۲-۴ تابع برازندگی..... ۷۲

۳-۴ محاسبه قابلیت اطمینان در مسئله تجدید آرایش..... ۷۳

۱-۳-۴ مفروضات محاسبه قابلیت اطمینان..... ۷۵

۲-۳-۴ گروه بندی گره های شبکه به هنگام وقوع خطا..... ۷۶

۳-۳-۴ محاسبه ENS..... ۷۸

۴-۴ خلاصه فصل..... ۸۹

فصل پنجم: ارائه روش تجدید آرایش در حضور منابع تولید پراکنده همزمان با جابایی آنها و شبیه سازی

۱-۵ مقدمه..... ۹۱

۲-۵ اجرای روش پیشنهادی..... ۹۲

۱-۲-۵ تابع برازندگی..... ۹۶

۹۷.....	۲-۲-۵ عملگر برش.....
۹۹.....	۳-۲-۵ عملگر جهش.....
۱۰۲.....	۳-۵ شبیه سازی و نتایج سیستم اول: Civanlar.....
۱۰۳.....	۱-۳-۵ حالت بدون حضور DG.....
۱۰۶.....	۲-۳-۵ حالت با حضور DG.....
۱۱۳.....	۴-۵ شبیه سازی و نتایج سیستم دوم: Baran (۳۳ باسه).....
۱۱۴.....	۱-۴-۵ حالت بدون حضور DG.....
۱۱۸.....	۲-۴-۵ حالت با حضور DG.....
۱۲۶.....	۵-۵ تحلیل نتایج.....
۱۲۸.....	۶-۵ خلاصه فصل.....

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۳۰.....	۱-۶ نتیجه گیری.....
۱۳۲.....	۲-۶ پیشنهادات.....
۱۳۳.....	پیوست.....
۱۳۶.....	مراجع.....

فهرست شکل ها

- شکل (۱-۲) : شبکه پایین دست و بالادست..... ۱۰
- شکل (۲-۲) : جزیره ای شدن..... ۱۰
- شکل (۳-۲) : شماتیک نقاط PCC و ACP در هنگام نصب DG..... ۱۲
- شکل (۴-۲) : طرح های اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه با توجه به قدرت نامی..... ۱۷
- شکل (۵-۲) : نقطه بهینه قابلیت اطمینان از نظر هزینه..... ۱۹
- شکل (۶-۲) : نمایش L_p و L_a ، t ، E_d ۲۶
- شکل (۷-۲) : شبکه توزیع با آرایش شعاعی..... ۲۹
- شکل (۸-۲) : آرایش دیگری از شبکه توزیع قبلی..... ۲۹
- شکل (۱-۳) : شبکه توزیع نمونه برای تشخیص توپولوژی..... ۴۲
- شکل (۲-۳) : فلوچارت مربوط به پخش بار..... ۴۸
- شکل (۳-۳) : چند نقطه از فضای جواب های یک مسئله فرضی..... ۵۲
- شکل (۴-۳) : نقاط فرضی مربوط به یک مجموعه با رتبه برابر..... ۵۴
- شکل (۵-۳) : عملکرد NSGA II..... ۵۵
- شکل (۶-۳) : مفهوم فاصله ازدحامی برای نقطه i ۵۶
- شکل (۷-۳) : فلوچارت الگوریتم NSGA II..... ۵۷
- شکل (۱-۴) : فلوچارت تجدید آرایش EWD..... ۶۳
- شکل (۲-۴) : سیستم توزیع توان..... ۶۵
- شکل (۳-۴) : آرایش جدید سیستم توزیع توان..... ۶۶

- شکل (۴-۴) : آرایش شبکه توزیع بعد از عملیات برش..... ۶۸
- شکل (۵-۴) : شبکه توزیع انتخابی جهت تست شعاعی بودن..... ۶۹
- شکل (۶-۴) : آرایش شبکه بعد از عملیات جهش..... ۷۱
- شکل (۷-۴) : شبکه توزیع ۳۳ باسه..... ۷۳
- شکل (۸-۴) : شبکه توزیع خطادار..... ۷۸
- شکل (۹-۴) : شبکه توزیع نمونه..... ۷۹
- شکل (۱۰-۴) : آرایش دیگری از شبکه توزیع نمونه..... ۸۵
- شکل (۱۱-۴) : شبکه توزیع نمونه با مکان DG متفاوت..... ۸۷
- شکل (۱-۵) : کروموزوم پیشنهادی..... ۹۳
- شکل (۲-۵) : تولید فرزند توسط عملگر برش و جهش..... ۱۰۰
- شکل (۳-۵) : فلوچارت الگوریتم شبیه سازی..... ۱۰۱
- شکل (۴-۵) : سیستم Civanlar..... ۱۰۲
- شکل (۵-۵) : تمام پاسخ های شبیه سازی بدون حضور DG در سیستم Civanlar..... ۱۰۳
- شکل (۶-۵) : روند بهبود تابع برازندگی تلفات..... ۱۰۵
- شکل (۷-۵) : روند بهبود تابع برازندگی ENS..... ۱۰۵
- شکل (۸-۵) : روند بهبود تابع هدف تلفات..... ۱۰۵
- شکل (۹-۵) : روند بهبود تابع هدف ENS..... ۱۰۶
- شکل (۱۰-۵) : تمام پاسخ های شبیه سازی با حضور دو DG در سیستم Civanlar..... ۱۰۷
- شکل (۱۱-۵) : روند بهبود تابع برازندگی تلفات با حضور دو DG..... ۱۰۸

- شکل (۵-۱۲) : روند بهبود تابع برازندگی ENS با حضور دو DG.....۱۰۹
- شکل (۵-۱۳) : روند بهبود تابع هدف تلفات با حضور دو DG.....۱۰۹
- شکل (۵-۱۴) : روند بهبود تابع هدف ENS با حضور دو DG.....۱۰۹
- شکل (۵-۱۵) : تمام پاسخ‌های شبیه‌سازی با حضور سه DG در سیستم Civanlar.....۱۱۰
- شکل (۵-۱۶) : روند بهبود تابع برازندگی تلفات با حضور سه DG.....۱۱۲
- شکل (۵-۱۷) : روند بهبود تابع برازندگی ENS با حضور سه DG.....۱۱۲
- شکل (۵-۱۸) : روند بهبود تابع هدف تلفات با حضور سه DG.....۱۱۲
- شکل (۵-۱۹) : روند بهبود تابع هدف ENS با حضور سه DG.....۱۱۳
- شکل (۵-۲۰) : شبکه توزیع ۳۳ باسه.....۱۱۴
- شکل (۵-۲۱) : تمام پاسخ‌های شبیه‌سازی بدون حضور DG در سیستم Baran.....۱۱۵
- شکل (۵-۲۲) : روند بهبود تابع برازندگی تلفات.....۱۱۶
- شکل (۵-۲۳) : روند بهبود تابع برازندگی ENS.....۱۱۷
- شکل (۵-۲۴) : روند بهبود تابع هدف تلفات.....۱۱۷
- شکل (۵-۲۵) : روند بهبود تابع هدف ENS.....۱۱۷
- شکل (۵-۲۶) : تمام پاسخ‌های شبیه‌سازی با حضور چهار DG در سیستم Baran.....۱۱۸
- شکل (۵-۲۷) : روند بهبود تابع برازندگی تلفات با حضور چهار DG.....۱۲۱
- شکل (۵-۲۸) : روند بهبود تابع برازندگی ENS با حضور چهار DG.....۱۲۱
- شکل (۵-۲۹) : روند بهبود تابع هدف تلفات با حضور چهار DG.....۱۲۱
- شکل (۵-۳۰) : روند بهبود تابع هدف ENS با حضور چهار DG.....۱۲۲

شکل (۵-۳۱) : تمام پاسخ‌های شبیه‌سازی با حضور دو DG در سیستم Baran.....۱۲۲

شکل (۵-۳۲) : روند بهبود تابع برازندگی تلفات با حضور دو DG.....۱۲۴

شکل (۵-۳۳) : روند بهبود تابع برازندگی ENS با حضور دو DG.....۱۲۵

شکل (۵-۳۴) : روند بهبود تابع هدف تلفات با حضور دو DG.....۱۲۵

شکل (۵-۳۵) : روند بهبود تابع هدف ENS با حضور دو DG.....۱۲۵

فهرست جدول ها

- جدول (۱-۲) : تعریف تولید پراکنده در چند کشور دنیا..... ۹
- جدول (۲-۲) : طبقه‌بندی مولدهای تولید پراکنده بر اساس مقادیر نامی..... ۱۶
- جدول (۳-۲) : طرح‌های مجاز برای اتصال DG به شبکه با توجه به قدرت نامی..... ۱۶
- جدول (۴-۲) : آمارهای عدم دسترسی برای مشترکین نوعی..... ۲۰
- جدول (۱-۳) : اطلاعات مربوط به شبکه توزیع نمونه..... ۴۳
- جدول (۲-۳) : جدول اتصالات شاخه و گره برای تشخیص توپولوژی..... ۴۴
- جدول (۳-۳) : جدول اتصالات شاخه و گره تغییر یافته برای تشخیص توپولوژی..... ۴۵
- جدول (۴-۳) : تغییر مجدد جدول اتصالات شاخه و گره برای تشخیص توپولوژی..... ۴۵
- جدول (۱-۴) : جدول اتصالات شاخه و گره..... ۶۹
- جدول (۲-۴) : جدول اتصالات شاخه و گره تغییر یافته..... ۷۰
- جدول (۳-۴) : تغییر مجدد جدول اتصالات شاخه و گره..... ۷۰
- جدول (۴-۴) : اطلاعات مربوط به شبکه توزیع نمونه..... ۸۰
- جدول (۵-۴) : کدگذاری خطوط از نظر تجهیزات حفاظتی..... ۸۱
- جدول (۶-۴) : کدگذاری خطوط شبکه توزیع نمونه..... ۸۱
- جدول (۷-۴) : نتایج مربوط به محاسبه ENS شبکه توزیع نمونه..... ۸۴
- جدول (۸-۴) : نتایج مربوط به محاسبه ENS شبکه توزیع نمونه شکل (۴-۱۰)..... ۸۶
- جدول (۹-۴) : نتایج مربوط به محاسبه ENS شبکه توزیع نمونه شکل (۴-۱۱)..... ۸۸

جدول (۱-۵) : نتایج شبیه‌سازی بدون حضور DG در سیستم Civanlar ۱۰۴

جدول (۲-۵) : نتایج شبیه‌سازی با حضور دو DG در سیستم Civanlar ۱۰۷

جدول (۳-۵) : نتایج شبیه‌سازی با حضور سه DG در سیستم Civanlar ۱۱۱

جدول (۴-۵) : نتایج شبیه‌سازی بدون حضور DG در سیستم Baran ۱۱۶

جدول (۵-۵) : نتایج شبیه‌سازی با حضور چهار DG در سیستم Baran ۱۱۹

جدول (۶-۵) : نتایج شبیه‌سازی با حضور دو DG در سیستم Baran ۱۲۳

فصل اول

مقدمه

مقدمه

افزایش روزافزون بارهای مصرفی در شبکه و گرایش به سمت انرژی‌های پاک و ارزان تغییراتی را در شیوه تولید برق ایجاد کرده است. همچنین پیشرفت علم و فن‌آوری و اختراع تجهیزات جدید برقی، امکان کنترل و استفاده از منابع تولید پراکنده را روزبه‌روز آسان‌تر می‌کند. در حال حاضر استفاده از منابع تولید پراکنده در سیستم‌های قدرت و بخصوص در بخش توزیع رو به فزونی گذارده است و به عنوان یکی از محورهای توسعه شبکه‌های قدرت به شمار می‌رود. انتظار می‌رود که منابع تولید پراکنده در آینده نزدیک نقش مهمی را در تولید انرژی الکتریکی در دنیا ایفا کنند. از اینرو استانداردهای مختلفی برای بکارگیری منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع همواره در حال توسعه است. بنابراین با توجه به روند رو به رشد استفاده از منابع تولید پراکنده در کشورهای مختلف دنیا و از جمله ایران و تأثیر این منابع در بهره‌برداری، حفاظت و کنترل سیستم‌های توزیع، بررسی تأثیرات بالقوه استفاده از این منابع یکی از ضروریات اساسی اتصال و یکپارچگی این منابع با شبکه‌های توزیع است. آمار خرابی در اکثر شرکت‌های برق نشان می‌دهد که بیشتر خرابی‌ها در سیستم‌های قدرت مربوط به شبکه توزیع است. بنابراین باید به این بخش از سیستم قدرت توجه ویژه‌ای بشود. شبکه‌های توزیع ساختار حلقوی دارند اما معمولاً بصورت شعاعی بهره‌برداری می‌شوند یعنی بارها فقط از یک طرف تغذیه می‌گردند بنابراین اگر خطایی در یکی از خطوط رخ دهد، بارهایی که در پایین‌دست خطا قرار دارند به علت اینکه راه تغذیه آن‌ها قطع شده است برای مدت طولانی بی‌برق خواهند ماند و شرکت برق به خاطر عدم فروش انرژی به مشتریان متضرر می‌شود. همچنین این موضوع باعث پایین آمدن رضایتمندی مشتریان از آن شرکت می‌شود و این نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان سیستم در این شبکه‌ها پایین است. همچنین تلفات در این شبکه‌ها به دلیل بهره‌برداری شعاعی، زیاد است زیرا برای انتقال توان به باس‌هایی که در انتهای فیدر قرار دارند، جریان زیادی باید از خطوط

عبور کند. در این شرایط واحدهای تولید پراکنده با تغذیه بعضی بارها می‌توانند نقش مهمی را در کاهش تلفات ایفا کند. همچنین این خود باعث افزایش قابلیت اطمینان می‌شود.

یکی از مهم‌ترین پرسش‌های پیرامون تولید پراکنده، چگونگی نصب این منابع در شبکه قدرت موجود است به گونه‌ای که قابلیت اطمینان مطلوب و ایمنی تضمین شود و همچنین از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد. در واقع انگیزه اصلی از انجام این پایان‌نامه پاسخ به سؤال زیر است:

فرض کنید شبکه‌ای وجود دارد که چندین سال از بهره‌برداری آن می‌گذرد. اکنون قرار است در این شبکه تعدادی DG نصب شود. وقتی DG وارد شبکه می‌شود چون شرایط سیستم عوض می‌شود ممکن است آرایش قبلی آرایش بهینه برای بهره‌برداری از شبکه توزیع نباشد از طرفی مکان بهینه نصب DG هم، به شدت به آرایش سیستم و توان DG بستگی دارد. بنابراین این دو مسئله باید در کنار هم بررسی شوند. در این پایان‌نامه مسئله تجدید آرایش¹ و جایابی DG به صورت همزمان و با هدف افزایش قابلیت اطمینان و کاهش تلفات صورت گرفته است که ساختار این پایان‌نامه به صورت زیر است:

فصل دوم این گزارش به تعاریف و مفاهیم کلی موضوعاتی که در انجام این پایان‌نامه به‌کاررفته پرداخته است. مزایا و معایب تولید پراکنده، کلاس‌بندی این منابع و به‌طور کل موضوعات اساسی پیرامون DGها مطرح شده است. همچنین مفاهیم و ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع و شاخص‌های مربوط به آن مانند ENS در این فصل آمده است. علاوه بر موضوعات گفته‌شده در بالا، مباحث تجدید آرایش و جایابی DG هم از جمله موضوعاتی است که در این بخش در مورد آن توضیح داده شده است و همچنین مروری هم بر کار دیگران در این زمینه‌ها آورده شده است. فصل سوم به نیازمندی‌های ضروری برای انجام این پایان‌نامه پرداخته است پرداخته است. پخش بارهای توزیع و الگوریتم‌های هوشمند از جمله مباحثی است که در مورد آن‌ها در این فصل به تفصیل توضیح داده شده است. فصل چهارم به

¹ Reconfiguration

تئوری حل مسئله تجدید آرایش با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر اساس تکنیک کدگذاری لبه پنجره^۱ پرداخته است. همچنین روش محاسبه قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع در حضور DG و اینکه DG در قبل و بعد از خطا چه نقشی در تأمین بار مشترکین دارد از جمله مباحثی است که در این فصل آورده شده است. در فصل پنجم به پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی یعنی تجدید آرایش و جایابی به طور همزمان، بر روی شبکه مورد مطالعه پرداخته شده است و نتایج در آن تحلیل شده است و در انتها، فصل ششم در مورد نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای کارهای آتی آورده شده است.

¹ Genetic Algorithm Based on Edge Window Decoder

مروری بر عوامل مؤثر در تجدید آرایش

۲-۱ مقدمه

تولیدات پراکنده منابع تولید انرژی الکتریکی هستند که به شبکه توزیع متصل می‌گردند و در نزدیکی مراکز بار مورد استفاده قرار می‌گیرند. این منابع در مقایسه با ژنراتورهای بزرگ‌تر و نیروگاه‌ها، حجم و ظرفیت تولید کمتری داشته و با هزینه پایین‌تری راه‌اندازی می‌شوند. هدف از مطالعه بر روی این منابع، بررسی رفتار آن‌ها بر شبکه‌های توزیع و همچنین مطالعه اصلاحات و تغییراتی است که به هنگام نصب این منابع بر روی شبکه توزیع، باید در ساختار شبکه و تجهیزات و نحوه بهره‌برداری و کنترل اعمال گردد. این مطالعات اثراتی را که برای بهره‌برداری، قابلیت اطمینان و ایمنی شبکه توزیع مضر باشد را مدنظر قرار می‌دهد.

در طول دهه‌های اخیر مقررات زدایی در سیستم‌های قدرت موجب شده است تا سرمایه‌گذاران و مدیران بخصوص در بخش توزیع که آخرین زنجیره از زنجیره برق‌رسانی است نگاه خود را نسبت به برنامه‌ریزی و بهره‌برداری تغییر دهد. برنامه‌ریزی در سیستم‌های قدرت تجدید ساختاریافته از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا با یک برنامه‌ریزی درست و سنجیده می‌توان هزینه‌های تحمیلی به مصرف‌کنندگان را کاهش داد و در رقابت در صنعت برق پیش‌تاز شد. برنامه‌ریزان در تلاش‌اند تا با کاهش هزینه‌های تولید، بهره‌برداری و بهبود قابلیت اطمینان سیستم هم به سود مورد نظر خود برسند و هم رضایت مشترکین را نسبت به خود جلب کنند.

تجدید آرایش شبکه یعنی بستن یکسری کلید که در حالت عادی باز^۱ (NO) هستند و باز کردن یکسری کلید دیگر که در حالت عادی بسته^۲ (NC) هستند به گونه‌ای که شبکه شعاعی بماند. یکی از اساسی‌ترین و رایج‌ترین راه‌های افزایش قابلیت اطمینان، تجدید آرایش سیستم است. به جز افزایش قابلیت

^۱ Normally Open

^۲ Normally Close

اطمینان تجدیدآرایش می‌تواند با اهداف مختلفی از قبیل کاهش تلفات توان، متعادل‌سازی بار، بهبود پروفیل ولتاژ، بهبود کیفیت توان و غیره نیز انجام شود.

تجدید آرایش در حضور منابع تولید پراکنده به شدت به مکان این منابع بستگی دارد بنابراین بهبود قابلیت اطمینان به مکان DGها نیز بستگی دارد و در صورت مکان‌یابی نامناسب، این واحدها اثرات نامطلوبی به سیستم وارد خواهند کرد و هزینه‌های بهره‌برداری را افزایش خواهند داد. در ادامه به تفصیل در مورد تأثیر منابع تولید پراکنده، قابلیت اطمینان و همین‌طور تجدیدآرایش و جایابی DG بحث خواهد شد.

۲-۲ تولید پراکنده

در سال‌های اخیر تولید پراکنده جذابیت زیادی برای مهندسين پیدا کرده است. دلایل جذابیت این تولیدات را می‌توان از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار داد. از دید مصرف‌کنندگان، مزایایی چون بالا بودن کیفیت برق تولیدی، قابلیت اطمینان بالاتر و در کشورهایی که قیمت انرژی متغیر است، به دلیل استفاده از انرژی‌های رایگان مانند باد و خورشید و همین‌طور کاهش تلفات در اثر وجود تولید پراکنده، این منابع را می‌توان انعطاف‌پذیری مناسب برای مواجهه با نوسانات قیمت انرژی دانست. از دید تولیدکنندگان انرژی الکتریکی، جلوگیری از سرمایه‌گذاری در سیستم‌های انتقال و توزیع و همین‌طور برق‌رسانی آسان به مناطق خارج از شبکه و دور از دسترس بسیار جذاب است. همچنین امنیت ملی کشور به دلیل پراکنده بودن این منابع و کمتر شدن تکیه بر شبکه سراسری، افزایش می‌یابد. از دید اقتصاد ملی نیز ایجاد صنایع گسترده و اشتغال‌زایی وسیع، کاهش استفاده از محیط جهت تولید و انتقال انرژی الکتریکی، کاهش تلفات و در نتیجه آن کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای گلخانه‌ای و

باعث توجه بیشتر به تولید پراکنده شده است. گسترش تولید پراکنده در سرتاسر دنیا را می‌توان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تحولات در زیرساخت شبکه‌های قدرت به شمار آورد. [۱]

۲-۲-۱ تعریف منابع تولید پراکنده

تعاریف مختلفی در کتب و مقالات برای تولید پراکنده ارائه شده است، ولی تقریباً در همه تعاریف می‌توان بخش‌های مشترکی پیدا کرد. در واقع آنچه بین آن‌ها مشترک است، صرف‌نظر از نحوه تولید توان این مولدها، این است که منابع تولید پراکنده منابع انرژی الکتریکی هستند که مستقیماً به شبکه توزیع و یا سمت مصرف‌کننده وصل می‌گردند. در بعضی از تعاریف مقدار توان تولیدی این منابع هم ملاک است اما آنچه که مورد پذیرش عموم است، این است که منابع تولید پراکنده نسبتاً کوچک بوده و ظرفیت آن‌ها معمولاً کمتر از ۲۵ مگاوات می‌باشد و مستقیماً به شبکه توزیع وصل می‌شوند.

تعاریف دیگری نیز توسط سازمان‌های مختلف ارائه شده است که تا حدودی متفاوت است. مؤسسه IEEE تولید برق توسط تجهیزاتی که به اندازه کافی از نیروگاه‌های مرکزی کوچک‌تر باشند و قادر به نصب در محل مصرف هستند را به عنوان تولید پراکنده تعریف کرده است. ^۱ IEA واحدهای تولیدکننده توان در محل مصرف یا در داخل شبکه توزیع که توان را به طور مستقیم به شبکه توزیع محلی تزریق می‌کنند را تولید پراکنده معرفی می‌کند [۲]. در جدول (۱-۱) تعریف تولید پراکنده بطور خلاصه در چند کشور دنیا آورده شده است [۳].

^۱ International Energy Agency

جدول (۲-۱): تعریف تولید پراکنده در چند کشور دنیا [۳]

کشورها	تعاریف
استرالیا	به منابعی اطلاق می‌شود که به شبکه توزیع تا ولتاژ ۱۳۲ KV وصل می‌شود و می‌تواند بصورت مستقیم مشترک را تغذیه نماید.
فرانسه	تولیدی که به شبکه توزیع متصل است و قابلیت تغذیه مستقیم بارها را دارد (تولیدی که به سطوح ولتاژ ۱۵،۰/۴ و ۲۰ کیلوولت وصل می‌شود).
دانمارک	منبع تولیدی است که مراکز دیسپچ بار منطقه‌ای را تحت تأثیر قرار ندهد.
جمهوری چک	تولیدی است که به شبکه توزیع تا ولتاژ ۱۱۰ KV وصل باشد.
فنلاند	به منبع تولیدی گفته می‌شود که به ولتاژهای ۰/۴ KV و ۲۰ KV وصل شود.
ایتالیا	تولیدی است که به شبکه‌های بالاتر از ۰/۴ KV تا ۱۵۰ KV وصل می‌شود.
انگلیس	تولیدی است که به سیستم توزیع تا ۱۳۲ KV وصل شود و امکان بهره‌برداری بصورت متمرکز وجود دارد.
آلمان	بصورت مشخص تعریف نشده است ولی معمولاً به انرژی خورشید، بادی و آبی کوچک گفته می‌شود (به سطح ولتاژ تا ۲۰ KV متصل می‌شود و برای پارک‌های بادی تا ۱۰ KV متصل می‌گردند).
آمریکا	منابع کوچک تولیدکننده توان (از چند کیلووات تا ۵۰ مگاوات) که به شبکه توزیع متصل می‌شوند.

۲-۲-۲ تعاریف مرتبط با تولید پراکنده

شبکه توزیع:

شبکه برق در سطح ولتاژ فشار ضعیف، شامل کلیه خطوط (هوایی یا زمینی)، پست‌های توزیع برق،

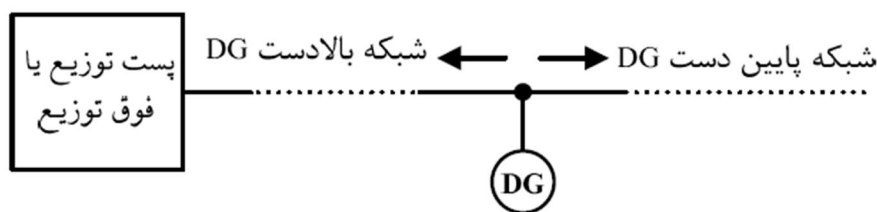
بارها و ترانسفورماتورها می‌باشد.

شبکه پایین دست و بالادست DG:

از نقطه اتصال DG به سمت انتهای فیدر یعنی سمتی که در آن پست وجود ندارد، شبکه پایین

دست نامیده می‌شود. شبکه بالادست DG نیز از نقطه اتصال DG به سمت ابتدای فیدر که ممکن است

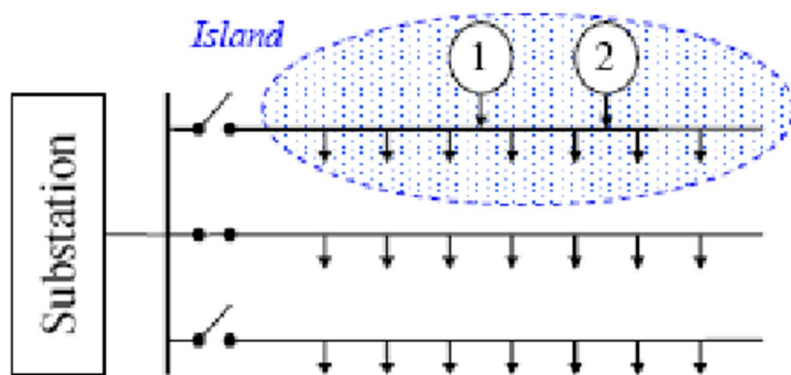
پست توزیع یا فوق توزیع باشد، تعریف می‌گردد [۴].



شکل (۱-۲) : شبکه پایین دست و بالادست [۴]

جزیره‌ای شدن^۱:

وقتی خطایی در شبکه توزیع رخ می‌دهد و یا بطور کلی اتفاقی می‌افتد که بخشی از شبکه از پست اصلی جدا و بی‌برق شود و چنانچه در این بخش DGهایی وجود داشته باشد که قادر به تأمین بار باشد، یعنی توان ظاهری تولیدی DGها از مجموع توان ظاهری بارها و تلفات بیشتر باشد، در این حالت یک جزیره تشکیل می‌شود. در صورتی که در جزیره ایجادشده یک DG وجود داشته باشد به صورت باس اسلک در نظر گرفته می‌شود و چنانچه بیش از یک واحد تولید پراکنده در شبکه وجود داشته باشد سایر DG را می‌توان به صورت واحد (PQ) و (PV) در نظر گرفت.



شکل (۲-۲) : جزیره‌ای شدن [۴]

یک نکته مهمی که در بهره‌برداری از یک سیستم توزیع باید به آن توجه شود بارزدایی در شبکه است. بهره‌برداران سیستم، با توجه به قیود امنیت سیستم همچون محدودیت‌های فرکانس، توان، جریان و ولتاژ بارزدایی را انجام می‌دهند.

¹ Islanding

به هنگام بهره‌برداری بصورت جزیره‌ای در شبکه‌های توزیع، در صورتی که ظرفیت واحدهای تولید پراکنده کمتر از مجموع بار و تلفات موجود در ناحیه جزیره شده باشد، بایستی تعدادی از بارها از شبکه قطع شوند این مسئله به هنگام بازیابی شبکه نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد چرا که می‌توان با ایجاد جزیره‌های عمدی، مسئله بازیابی را بصورت بسیار مناسب و با موفقیت انجام داد و قابلیت اطمینان را افزایش داد.

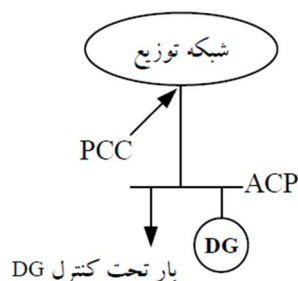
طبق استاندارد IEEE-1547 وقتی خطایی در شبکه اتفاق می‌افتد در کمتر از دو ثانیه تمام DG هایی که در پایین‌دست خطا قرار دارند باید از شبکه توزیع خارج شوند. امروزه ایده‌های جدیدی مطرح شده است به گونه‌ای که استفاده از آن‌ها ما را قادر می‌سازد تا به هنگام وقوع خطا هم بتوانیم از آن‌ها در شبکه توزیع بهره ببریم.

نقطه اتصال مشترک^۱ (PCC) :

نقطه اتصال مشترک (PCC) نزدیک‌ترین نقطه به نقطه‌ای است که تجهیزات DG به آن متصل هستند، و سایر استفاده‌کنندگان شبکه نیز به آن متصل می‌باشند و در صورتی که تجهیزات تولید پراکنده از طریق یک خط اختصاصی (مستقیم) به شبکه متصل شده باشند، با نقطه اتصال واقعی^۲ (ACP) متفاوت است. این نقطه از دیدگاه شبکه، نقطه اتصال DG به شبکه بوده و هر تغییری از سوی DG بر روی این نقطه، بارهای شبکه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. در واقع در این نقاط تأثیرات DG روی شبکه بروز خواهد کرد و کنترل آن بر عهده بهره‌بردار شبکه می‌باشد [۵].

^۱ Point of Common Coupling

^۲ Actual Connection Point



شکل (۳-۲) : شماتیک نقاط PCC و ACP در هنگام نصب DG [۴]

۳-۲-۲ مزایا و اثرات تولید پراکنده

اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه‌های توزیع منافع الکتریکی زیادی دارد که در زیر به برخی از

آنها اشاره شده است:

۱. پشتیبانی اضطراری در هنگام خاموشی‌های شبکه

۲. کاهش افت ولتاژ

۳. افزایش قابلیت اطمینان شبکه

۴. کاهش تلفات الکتریکی

۵. تغذیه بارهای محلی در مدت جزیره‌ای شدن شبکه

۶. ارزشمند نمودن ذخایر انرژی [۶]

استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه قدرت (به‌خصوص در بخش توزیع) ملاحظات زیادی را به دنبال

داشته است که باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. این ملاحظات اثری جدی بر بهره‌برداری از شبکه توزیع

به همراه دارند که برخی از آنها عبارتند از:

۱. طراحی شبکه توزیع بصورت شعاعی بوده یعنی، در آن شارش جریان و تشخیص خطا بصورت یک‌جهته در شبکه انجام می‌گیرد ولی با ادغام منابع تولید پراکنده به شبکه توزیع، این شبکه از حالت شعاعی خارج می‌شود.
 ۲. پس از ادغام مولدهای تولید پراکنده به شبکه توزیع، رله‌های موجود در شبکه توزیع قادر به تشخیص خطاهای جهت‌دار و هماهنگی‌های خطاهای معکوس نیستند.
 ۳. کنترل ولتاژ با ورود مولدهای تولید پراکنده تحت تأثیر قرار می‌گیرند.
 ۴. محدوده‌های پایداری سیستم با ورود DG تغییر می‌کند.
 ۵. بررسی منابع تولید پراکنده وقتی که بصورت جزیره‌ای عمل می‌کنند.
 ۶. عملکرد بریکرها و سیستم بازبست خودکار^۱ تحت تأثیر قرار می‌گیرند [۴].
- علاوه بر اثرات فوق منابع تولید پراکنده می‌توانند خود تولیدکننده هارمونیک باشند و یا سبب فلیکر در شبکه توزیع بشوند. همچنین در هنگامی خاموشی شبکه که این منابع به صورت جزیره‌ای عمل می‌کنند ممکن است برای تعمیرکاران شبکه خطرناک باشد.

۲-۲-۴ طبقه‌بندی منابع تولید پراکنده بر اساس قدرت نامی

مسائل فنی در مورد اتصال DGها به شبکه توزیع به شدت تحت تأثیر قدرت نامی این مولدها است. مثلاً DGهایی که قدرت آنها پایین است تأثیر زیادی بر روی ادوات حفاظتی ندارند. بنابراین نیاز است این مولدها را به دسته‌های خاصی تقسیم کنیم تا با رجوع به هر دسته، ارزیابی تأثیر این منابع بر شبکه توزیع بصورت دقیق‌تر انجام شود و از هدر دادن زمان و هزینه‌های اضافی جلوگیری شود. در ادامه تقسیم‌بندی DGها بر اساس قدرت نامی در چند کشور دنیا از جمله ایران آورده شده است.

¹ Recloser

ایالت آریزونا^۱ و سالت ریور^۲ (آمریکا) [۷-۸] :

دسته‌بندی زیر بر اساس تعیین حداقل تجهیزات حفاظتی مورد نیاز برای اتصال مولدهای تولید

پراکنده در ایالت آریزونا است:

- کلاس ۱ : ۵۰ کیلووات یا کمتر، تک‌فاز یا سه فاز
- کلاس ۲ : ۵۱ کیلووات تا ۳۰۰ کیلووات، سه فاز
- کلاس ۳ : ۳۰۱ کیلووات تا ۵۰۰۰ کیلووات، سه فاز
- کلاس ۴ : بیشتر از ۵۰۰۰ کیلووات، سه فاز

ولز [۹] :

- کلاس ۱ :
 - ✓ کمتر از ۲۵۰ کیلووات و کمتر برای مناطق روستایی
 - ✓ کمتر از ۵۰۰ کیلووات و کمتر برای مناطق شهری
- کلاس ۲ :
 - ✓ بین ۲۵۰ کیلووات تا ۴ مگاوات برای مناطق روستایی
 - ✓ بین ۵۰۰ کیلووات تا ۷ مگاوات برای مناطق شهری
- کلاس ۳ :
 - ✓ بین ۴ مگاوات تا ۲۰ مگاوات برای مناطق روستایی
 - ✓ بین ۷ مگاوات تا ۲۰ مگاوات برای مناطق شهری
- کلاس ۴ :
 - ✓ بیشتر از ۲۰ مگاوات برای مناطق شهری و روستایی

^۱ Arizona

^۲ Salt River

استرالیا [۱۰] :

- کلاس خیلی کوچک : کمتر از ۱۰ کیلووات (تکفاز) یا کمتر از ۳۰ کیلووات (سه فاز)
- کلاس کوچک : کمتر از یک مگاوات
- کلاس متوسط : بیشتر از یک مگاوات و کمتر از ۵ مگاوات
- کلاس بزرگ : بیشتر از ۵ مگاوات

ایران [۴] :

مولدهای تولید پراکنده سه فاز در ایران بر اساس قدرت نامی به پنج کلاس تقسیم‌بندی می‌شوند. این تقسیم‌بندی بر اساس " دستورالعمل اتصال مولدهای مقیاس کوچک به شبکه توزیع نیروی برق [۱۱] " است و مولدهای تولید پراکنده در آن به چهار کلاس تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های توانیر، مسئولیت اجرای دستورالعمل اتصال DGها به شبکه توزیع با قدرت نامی کمتر از ۷ مگاوات بر عهده شرکت‌های توزیع نیروی برق است و چنانچه قدرت نامی این مولدها بیشتر از ۷ مگاوات باشد، به شرکت‌های برق منطقه‌ای مربوط می‌شود. لذا در زیر علاوه بر تقسیم‌بندی صورت گرفته در مرجع [۱۱] یک کلاس دیگر نیز به این تقسیم‌بندی اضافه شده است. جدول (۲-۲) طبقه‌بندی مولدهای تولید پراکنده را بر اساس قدرت نامی نشان می‌دهد.

مولدهای تولید پراکنده تکفاز با ظرفیت کمتر از ۵ کیلووات جزء کلاس ۱ هستند و نحوه اتصال آنها به شبکه بر اساس طرح ۱ است که در شکل (۴-۲) نشان داده شده است.

شکل (۴-۲) طرح‌هایی که معمولاً برای اتصال مولدهای تولید پراکنده به شبکه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند را بر اساس طبقه‌بندی جدول (۲-۲) نشان می‌دهد.

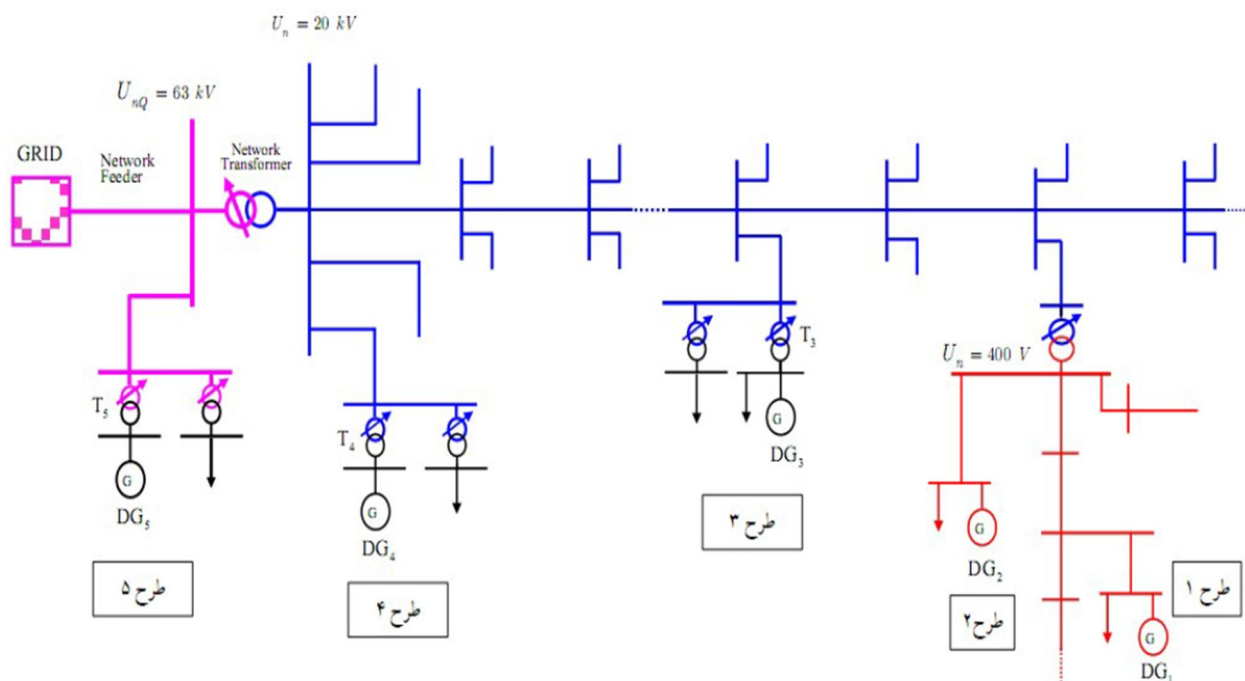
جدول (۲-۲) : طبقه‌بندی مولدهای تولید پراکنده بر اساس مقادیر نامی [۴]

کلاس	مقادیر نامی
۱	کمتر از ۲۰ کیلووات
۲	بیشتر از ۲۰ کیلووات و کمتر از ۲۰۰ کیلووات
۳	بیشتر از ۲۰۰ کیلووات و کمتر از ۱۰۰۰ کیلووات
۴	بیشتر از ۱ مگاوات و کمتر از ۷ مگاوات
۵	بیشتر از ۷ مگاوات و کمتر از ۲۵ مگاوات

ترتیب شماره‌گذاری این پنج طرح بر اساس افزایش ظرفیت DG، سطح خطا در نقطه اتصال مشترک (PCC) و زمان و هزینه مورد نیاز برای برقراری اتصال DG با شبکه انجام شده است. بر این اساس جدول (۲-۳)، طرح‌های مجازی که می‌توان برای اتصال این منابع به شبکه مورد استفاده قرار داد را ارائه می‌کند. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود برای هر یک از کلاس‌های DG، با توجه به ظرفیت و محدودیت‌های نصب این مولدها، یک یا دو ناحیه مختلف از شبکه برای نصب آن‌ها پیشنهاد شده است.

جدول (۲-۳) : طرح‌های مجاز برای اتصال DG به شبکه با توجه به قدرت نامی [۴]

کلاس طرح	۱	۲	۳	۴	۵
۱	*				
۲	*	*			
۳		*	*	*	
۴				*	*
۵					*



شکل (۲-۴): طرح‌های اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه با توجه به قدرت نامی [۴]

۳-۲ قابلیت اطمینان

با پیشرفت علم و فناوری و مدرن شدن سبک زندگی، تغییرات عمده‌ای در زندگی انسان‌ها به وجود آمده است به گونه‌ای که از حالت سخت و طاقت‌فرسا به سمت زندگی آسان و ماشینی در حرکت است تا جایی که ماشین‌ها و تجهیزات مدرن با بشر خو گرفته و جزء جدایی‌ناپذیر زندگی مردم شده است. اکنون تصور کنید که به دلیل خرابی و نداشتن ایمنی لازم، این تجهیزات از زندگی حذف شوند در واقع از کار افتادن محصولات و سیستم‌ها موجب به وجود آمدن اختلالات زیادی در زندگی هم از بعد روانی و هم از بعد جسمانی می‌شود و حتی بعضی وقت‌ها امنیت یک جامعه را به خطر می‌اندازد. بنابراین ارزیابی کمی و

کیفی قابلیت اطمینان سیستم‌ها از جمله موضوعاتی است که هر مدیر و کارشناسی که بر روی سیستم خاصی کار می‌کند باید به آن توجه کند.

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت با شناخت عوامل به‌وجود آورنده حوادث، امکان‌پذیر خواهد بود. از طرفی برای بررسی حوادث به اطلاعات و آمار صحیح نیاز است. بنابراین اولین قدم در شناخت و بررسی حوادث، جمع‌آوری اطلاعات صحیح و تحلیل آماری آن‌ها می‌باشد. داده‌های گردآوری‌شده از سابقه سیستم، بایستی پاسخگوی فاکتورهایی که بر قابلیت اطمینان سیستم تأثیر می‌گذارند باشد و با استفاده از آن‌ها بتوان تمام داده‌های ورودی مورد نیاز روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان را بدست آورد [۱۲].

۲-۳-۱ تعریف قابلیت اطمینان

طبق [۱۳] قابلیت اطمینان یک سیستم عبارت است از احتمال عملکرد رضایت‌بخش آن

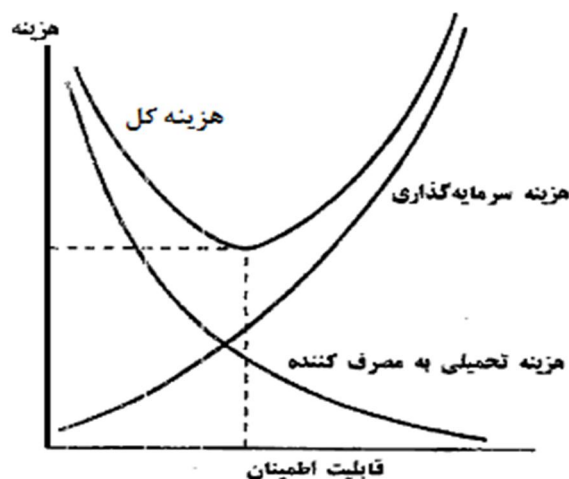
سیستم تحت شرایط کار مشخص برای مدت زمان معین.

تعریف فوق چهار بخش اصلی دارد که شامل: احتمال - عملکرد رضایت‌بخش - زمان و شرایط کار معین است. اولین بخش یعنی احتمال، یک عدد است که همان شاخص ارزیابی قابلیت اطمینان می‌باشد. این شاخص یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها بشمار می‌آید اگرچه پارامترهای بسیاری ورای آن مطرح است. در سه بخش دیگر از تعریف فوق که همگی پارامترهای مهندسی هستند، تئوری احتمال هیچ‌گونه کمکی نمی‌کند [۱۳].

۲-۳-۲ هزینه در قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان سیستم‌ها به دو طریق تحت تأثیر قرار می‌گیرد: ۱- کیفیت اجزا ۲- کاربرد اجزای مازاد. بدیهی است هر چه کیفیت اجزای بکاربرده در یک سیستم بهتر باشد میزان خرابی کمتر است. همچنین هر چه از تعداد تجهیزات ذخیره و پشتیبان بیشتر استفاده کنیم باز هم قابلیت اطمینان و در دسترس‌پذیری سیستم بیشتر است. هر دو مورد اشاره شده مستلزم هزینه است اما سؤال این است که چقدر هزینه کنیم تا قابلیت اطمینان در حد قابل قبول باشد در واقع باید مصالحه‌ای بین هزینه و قابلیت اطمینان برقرار کنیم.

شکل (۲-۴) نشان می‌دهد که با افزایش هزینه سرمایه‌گذاری قابلیت اطمینان نیز افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر هزینه‌های مشترکین ناشی از خرابی‌ها با افزایش قابلیت اطمینان، کاهش می‌یابد. مجموع این دو هزینه، هزینه نهایی را تعیین می‌کند و طبق شکل (۲-۴) مقدار حداقلی دارد که بیانگر سطح بهینه قابلیت اطمینان می‌باشد [۱۴].



شکل (۲-۵): نقطه بهینه قابلیت اطمینان از نظر هزینه [۱۴]

۲-۳-۳ قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع

تجهیزات سیستم‌های توزیع در مقایسه با تجهیزات سیستم‌های انتقال نسبتاً ارزان‌تر است و قطعی‌های آن تأثیر محلی دارد و این امر باعث شده است تلاش زیادی برای ارزیابی طرح‌های آن‌ها تخصیص داده نشود. از طرف دیگر تحلیل آماری خرابی مشترک‌های اکثر شرکت‌های برق گویای این مطلب است که سیستم توزیع بیشترین سهم را در عدم دسترسی منبع تغذیه به مشترک دارد. این موضوع در مورد شرکت توزیعی در کشور انگلستان به صورت آماری در جدول (۲-۴) آمده است. با چنین آمارهایی، توجه به ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع به منظور ارزیابی کمی، باعث تقویت طرح‌های مختلفی که در اختیار طراحان قرار دارد می‌شود. این امر استفاده مطلوب از منابع سرمایه‌ای محدود برای رسیدن به بیشترین حد ممکن قابلیت اطمینان را ممکن می‌سازد [۱۴].

جدول (۲-۴) : آمارهای عدم دسترسی برای مشترکین نوعی [۱۴]

متوسط عدم دسترسی بر حسب مشترک سال		
(%)	(دقیقه)	سهم مشارکت
۰/۵	۰/۵	تولید / انتقال
۲/۴	۲/۳	۱۳۲ کیلوولت
۸/۳	۸	۳۳ و ۶۶ کیلوولت
۶۰/۷	۵۸/۸	۶۶ و ۱۱ کیلوولت
۱۱/۹	۱۱/۵	فشار ضعیف
۱۶/۲	۱۵/۷	خاموشی‌های بابرنامه
۱۰۰	۹۶/۸ دقیقه	کل

شاخص‌های قابلیت اطمینان به دو روش، یکی تحلیلی^۱ و دیگری شبیه‌سازی تصادفی^۲ تعیین می‌شوند. تفاوت روش‌های تحلیلی و روش شبیه‌سازی در این است که در روش‌های تحلیلی، از مدل ریاضی برای ارائه سیستم استفاده می‌شود که معمولاً با ساده‌سازی‌هایی همراه است و شاخص‌های قابلیت اطمینان را از حل مستقیم ریاضی مسئله بدست می‌دهد. در حالی که در روش شبیه‌سازی شاخص‌های قابلیت اطمینان با توجه به رفتار تصادفی سیستم و از شبیه‌سازی فرآیند واقعی بدست می‌آیند. در روش شبیه‌سازی، با یک مسئله بصورت تعدادی آزمایش‌های شبیه تجربیات واقعی در طول زمان برخورد می‌شود و در محاسبه احتمالات و سایر شاخص‌ها از روش شمارش تعداد دفعات وقوع رخدادها استفاده می‌شود. این دو روش هر یک دارای مزایا و معایبی است:

- زمان حل مسئله با روش‌های تحلیلی نسبت به روش شبیه‌سازی کوتاه‌تر است. البته در صورت استفاده از رایانه این تفاوت قابل احتساب نیست.
- روش تحلیلی همیشه نتایج عددی یکسانی برای مدل معینی از یک سیستم با ورودی‌های مشخص بدست می‌دهد این موضوع در مورد روش شبیه‌سازی بستگی به مولد اعداد تصادفی و تعداد دفعات تکرار شبیه‌سازی دارد.
- گاهی اوقات ساده‌سازی‌های متداول در روش‌های تحلیلی به میزانی است که مدل یک سیستم را از واقعیت آن کاملاً دور می‌کند. در حالیکه با روش‌های شبیه‌سازی کلیه مشخصات واقعی سیستم می‌تواند مورد ملاحظه قرار گیرد و دقیق‌تر است.
- با روش شبیه‌سازی در مقایسه با روش تحلیلی می‌توان تنوع وسیعی از پارامترهای خروجی شامل ممان‌های آماری و تابع‌های کامل توزیع احتمالات آن‌ها را در اختیار داشت در حالی که با روش‌های تحلیلی صرفاً به مقادیر انتظاری از این پارامترها محدود هستیم.

^۱ Analytical

^۲ Stochastic Simulation

لازم بذکر است که انواع مختلفی از فرآیندهای شبیه‌سازی وجود دارد در حالی که معمولاً آن‌ها را بدون توجه به تفاوت‌هایشان، شبیه‌سازی مونت کارلو^۱ (MCS) می‌نامند [۱۳].

در این پایان‌نامه برای ارزیابی قابلیت اطمینان از روش تحلیلی استفاده شده است. در ادامه به بررسی شاخص‌ها قابلیت اطمینان در شبکه توزیع پرداخته شده است.

۲-۳-۱ شاخص‌های قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع

این شاخص‌ها مجموعه‌ای آماری از داده‌های احتمالی است که برنامه‌ریزان و اپراتورهای سیستم‌های قدرت از آن به عنوان ابزاری برای بهبود سرویس‌دهی به مصرف‌کنندگان استفاده می‌کنند. برنامه‌ریزان با استفاده از آن نیازهای سیستم (تولید، انتقال، توزیع) را تعیین می‌کنند و اپراتورها با استفاده از آن مطمئن می‌شوند که آیا سیستم توانایی مقاومت کردن در مقابل خطاهای متداول را بدون حادثه و خاموشی دارد. قبل از معرفی این شاخص‌ها ضروری است به سه پارامتر اساسی که در مطالعه و ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع اهمیت ویژه‌ای دارند اشاره گردد. این سه پارامتر اساسی نرخ خطای متوسط (λ_s) بر حسب خطا بر سال (fault/year)، زمان متوسط خروج سیستم از حالات عملکرد (I_s) بر حسب ساعت بر سال (hour/year)، زمان متوسط سالیانه خروج از حالت عملکرد در دسترس نبودن متوسط در دوره زمانی مطالعه (U_s) بر حسب ساعت بر سال (hour/year) می‌باشد. این پارامترهای اساسی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع به کمک نتایج آماری خطاهای سال‌های گذشته واقع شده در سیستم بدست می‌آیند. قبل از معرفی شاخص‌ها لازم است به این نکته توجه شود که سیستم‌های توزیع شعاعی در محاسبات قابلیت اطمینان به صورت یک سیستم با عناصر سری مدل می‌شوند و معادلات مربوط به سیستم سری در آن صدق می‌کند. با توجه به این نکته در این سیستم‌ها باید تمام عناصر بین باس‌بار و پست اصلی در حالت عملکرد صحیح باشند تا مصرف‌کننده بتواند تغذیه گردد. بنابراین برای معرفی شاخص‌ها نیاز است

¹ Monte Carlo Simulation

یک سیستم سری با n مؤلفه در نظر گرفته شود. در این سیستم پارامترهای اساسی مذکور را می‌توان از روابط صفحه بعد بدست آورد:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (1-2)$$

$$U_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i = \lambda_s r_s \quad (2-2)$$

$$r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i r_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (3-2)$$

که در آن λ_i نرخ خروجی و r_i مدت زمان خاموشی عنصر i ام شبکه می‌باشد [۱۲-۱۴].

پارامترهای تعریف شده در بالا به تنهایی نمی‌توانند رفتار و وضعیت سیستم را بطور کامل بیان کنند. برای ایجاد نمایی ملموس‌تر از وضعیت شبکه و همچنین اهمیت ویژه‌ای که تغذیه مشترکین دارد، از شاخص‌های متعددی که در استاندارد IEEE Std-1366 مطرح شده‌اند، استفاده می‌شود. در این استاندارد شاخص‌ها به دو نوع شاخص‌های مربوط به مصرف‌کننده و شاخص‌های بار تقسیم‌بندی شده‌اند. با توجه به تعدد این شاخص‌ها، در ادامه به بررسی مهم‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها می‌پردازیم [۱۲]:

۱-۱-۳-۳-۲ شاخص‌های مربوط به مصرف‌کننده

۱. شاخص متوسط فراوانی قطع برق سیستم، SAIFI^۱ :

$$SAIFI = \frac{\text{کل تعداد قطعی‌های مشترکین}}{\text{کل تعداد مشترکین}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad (4-2)$$

که λ_i نرخ خروجی و N_i تعداد مشترکین در محل بار i ام است.

۲. شاخص متوسط فراوانی قطع برق مشترک، CAIFI^۲ :

$$CAIFI = \frac{\text{کل تعداد قطعی‌های مشترکین}}{\text{کل تعداد مشترکین تحت تأثیر}} \quad (5-2)$$

¹ System Average Interruption Frequency Index

² Customer Average Interruption Frequency Index

تفاوت این شاخص با SAIFI از نظر فرمول فقط در مقدار مخرج کسر است. در استفاده این شاخص، مشترکین باید بدون توجه به تعداد قطعی‌های آن‌ها که در سال ممکن است اتفاق بیافتد فقط باید یک‌بار شمارش شوند.

۳. شاخص متوسط مدت قطع برق سیستم، SAIDI^۱:

$$SAIDI = \frac{\text{مجموع زمان‌های قطعی مشترکین}}{\text{کل تعداد مشترکین}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad (۶-۲)$$

که U_i مدت زمان سالیانه خاموشی و N_i تعداد مشترکین محل بار i ام است.

۴. شاخص متوسط مدت قطع برق مشترک، CAIDI^۲:

$$CAIDI = \frac{\text{مجموع زمان‌های قطعی مشترکین}}{\text{کل تعداد قطعی‌های مشترکین}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} \quad (۷-۲)$$

که λ_i نرخ خروجی می‌باشد و U_i مدت زمان سالیانه خاموشی و N_i تعداد مشترکین محل بار i ام است.

این شاخص می‌تواند با کاهش طول مدت زمان خاموشی و یا با افزایش تعداد خاموشی‌های برق ایجادشده برای مشترکین، کاهش یابد. بنابراین کاهش آن لزوماً به معنای بهبود قابلیت اطمینان نیست.

۵. شاخص متوسط دسترس‌پذیری (عدم دسترسی) به سرویس، ASAI (ASUI):

$$ASAI = \frac{\text{ساعات دسترس‌پذیری به سرویس مشترک}}{\text{ساعات تقاضای مشترک}} = \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (۸-۲)$$

$$ASUI = 1 - ASAI = \frac{\text{ساعات عدم دسترسی مشترک به سرویس}}{\text{ساعات تقاضای مشترک}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (۹-۲)$$

¹ System Average Interruption Duration Index

² Customer Average Interruption Duration Index

که ۸۷۶۰ تعداد ساعات در یک سال است.

شاخص ASAI دسترسی مشترکین به انرژی برق را بصورت درصد ساعات برق دار بودن نسبت به کل ساعات مورد نیاز مشترکین در تأمین انرژی برق در مدت زمان یکسال را بیان می کند. در نتیجه هر چه مقدار ASAI بیشتر باشد قابلیت اطمینان نیز بیشتر است. در مقابل شاخص ASUI میزان عدم دسترسی مشترکین به انرژی برق را نسبت به کل ساعات مورد نیاز مشترکین در تأمین انرژی بیان می کند [۱۲-۱۴].

۲-۳-۱-۲ شاخص های مربوط به بار و انرژی

یکی از پارامترهای مهم مورد نیاز در تعیین شاخص های مبتنی بر بار و انرژی، بار متوسط هر باس در محل بار است.

بار متوسط L_a بصورت:

$$L_a = L_p f \quad (۱۰-۲)$$

که L_p بار پیک تقاضا و f ضریب بار^۱ است

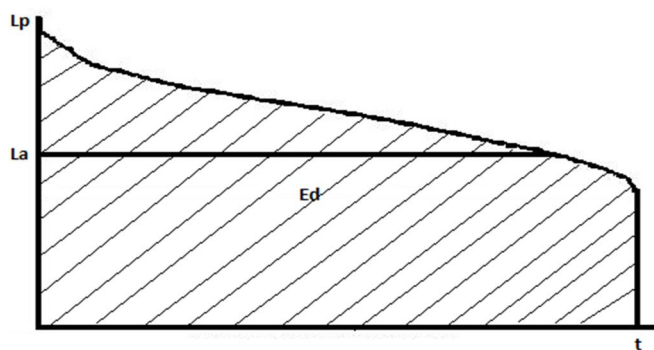
$$L_a = \frac{\text{کل تقاضا انرژی در دوره مورد نظر}}{\text{دوره مورد نظر}} = \frac{E_d}{t} \quad (۱۱-۲)$$

که E_d و t در روی منحنی تداومی بار^۲ (LDC) شکل (۲-۶) نشان داده شده است و بطور معمول t در

یک دوره یکساله است.

^۱ Load factor

^۲ Load Duration Curve



شکل (۶-۲): نمایش L_p و L_a ، t ، E_d

۱. شاخص انرژی تأمین نشده، ENS :

$$ENS = \sum L_{a(i)} U_i \quad (۱۲-۲)$$

این شاخص بیانگر انرژی تأمین نشده کل سیستم است و واحد آن کیلووات ساعت (KWh) است.

$L_{a(i)}$ متوسط بار متصل شده به محل بار i است. همچنین با ضرب این شاخص در هزینه واحد انرژی می-

توان زیان ناشی از وقفه و عدم فروش انرژی الکتریکی را محاسبه نمود.

۲. متوسط انرژی تأمین نشده، AENS^۱ یا شاخص متوسط قطع سیستم، ASCI^۲ :

$$AENS = \frac{\text{کل انرژی تأمین نشده}}{\text{کل تعداد مشترکین}} = \frac{\sum L_{a(i)} U_i}{\sum N_i} \quad (۱۳-۲)$$

این شاخص بیانگر مقدار متوسط انرژی فروخته نشده به هر مشترک است. ویژگی مثبت این شاخص

نسبت به شاخص ENS قابل مقایسه بودن آن در شبکه‌های مختلف است. مثلاً در یک شبکه ENS از

شبکه دوم بیشتر است ولی از آنجایی که تعداد مشترکین آن بیشتر از شبکه دوم است، مقدار متوسط

انرژی فروخته نشده به هر مشترک (AENS) در شبکه اول کمتر است و این بدین معنی است که

مشترکین شبکه اول مدت زمان کمتری قطعی و خاموشی را تجربه می‌کنند.

^۱ Average Energy Not Supplied

^۲ Average System Curtailment Index

علاوه بر موارد فوق در استاندارد IEEE Std-1366 شاخص‌های متنوع دیگری نیز تعریف شده است

[۱۲-۱۴].

۲-۳-۴ تأثیر تولید پراکنده بر قابلیت اطمینان

منابع تولید پراکنده بطور مستقیم و غیرمستقیم در بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت نقش دارند. مثلاً این منابع می‌توانند برق منطقه‌ای را که دائماً دچار افت ولتاژ و در نهایت قطعی می‌شود بطور مستقیم تأمین کنند و یا می‌توانند با بهبود کیفیت توان و کم کردن تنش و بار از روی اجزاء شبکه بطور غیرمستقیم باعث افزایش طول عمر اجزا شوند و با این کار قابلیت اطمینان اجزاء سیستم را افزایش دهند [۱۲].

۲-۴ تجدید آرایش

۲-۴-۱ تعاریف

عملیات مانور^۱:

به باز و بسته نمودن یکسری از کلیدهای شبکه توزیع به منظور انجام هدفی خاص (بازسازی شبکه، رفع عیب، تعدیل بار، کاهش تلفات و...) که منجر به تغییر در مسیر تغذیه برخی بارهای سیستم می‌گردد عملیات مانور می‌گویند.

¹ Manoeuver

نقاط مانور:

به نقاطی که توسط آن‌ها عملیات مانور صورت می‌پذیرد و عموماً شامل بریکرها، سکسیونرها، فیوزهای کات‌اوت، سکشنالایزرها^۱ (که از ریکلوزر بالادستی خود فرمان می‌گیرند)، جمپرها و بطور کل سایر تجهیزات حفاظتی که برای قطع و وصل خطوط در شبکه توزیع استفاده می‌شود، نقاط مانور گویند. نقاط مانور به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول آن‌هایی‌اند که در حالت عادی بازند و به هنگام مانور بسته می‌شوند که به آن‌ها کلیدهای ارتباطی^۲ (NO) می‌گویند و دسته دیگر که در حالت عادی بسته است و به هنگام مانور باز می‌شود که به آن‌ها کلیدهای بخشی^۳ (NC) می‌گویند.

تجدید آرایش یا بازآرایی :

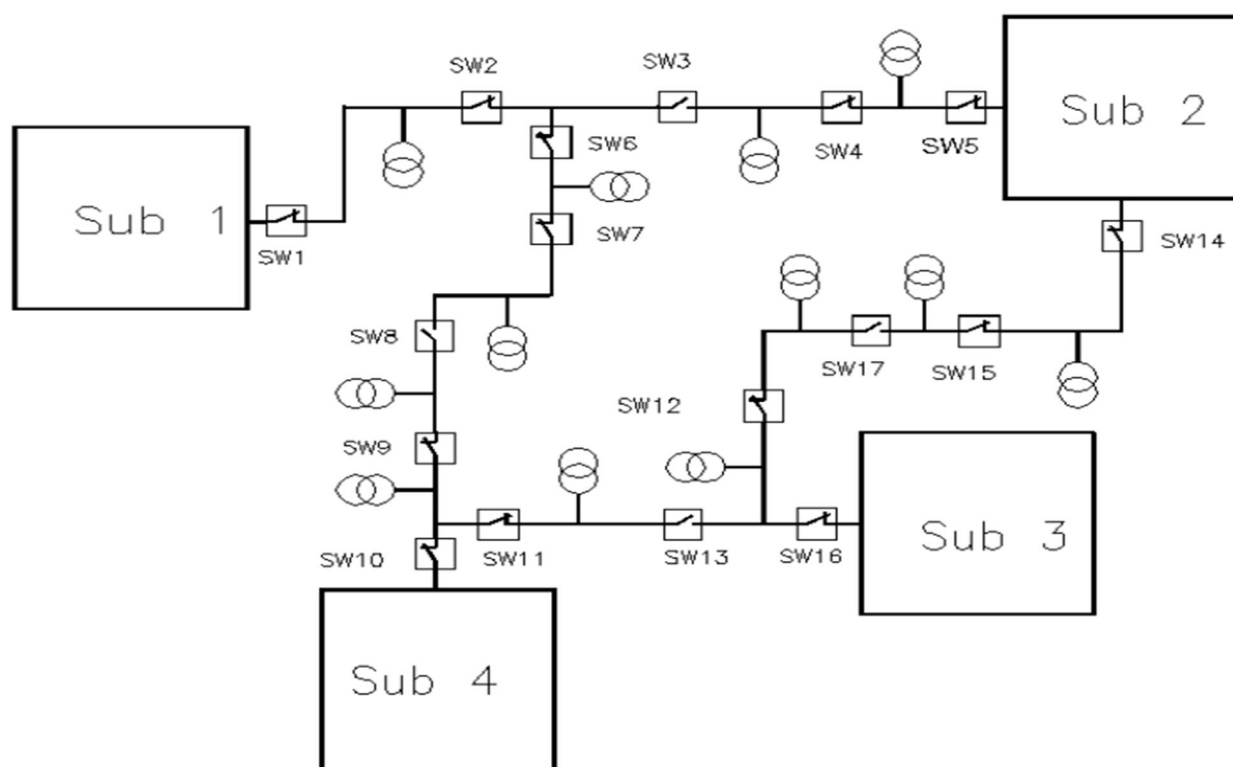
به مجموعه‌ای از حالات کلیدها (باز یا بسته) در شبکه توزیع، یک آرایش می‌گویند و هر گاه بر روی این مجموعه، عملیات مانور انجام دهیم آرایش جدیدی از شبکه بدست می‌آید که به آن تجدید آرایش یا بازآرایی می‌گویند. لازم بذکر است که بازیابی بار و تجدید آرایش هر دو با عملیات مانور انجام می‌شود اما با یکدیگر فرق دارند زیرا بازیابی بعد از رخداد خطا انجام می‌شود و ممکن است برخی یا همه بارها طی آن از طریق فیدرهای دیگر تغذیه شوند اما تجدید آرایش یک مسئله برنامه‌ریزی^۴ یا بهره‌برداری است که به خطا ربطی ندارد و طی آن بارهای شبکه که در حال تغذیه هستند (یا در مسئله برنامه‌ریزی قرار است تغذیه بشوند) در آرایش و توپولوژی جدیدی تغذیه می‌شوند. به عبارت دیگر تنها بعضی وقت‌ها که با بازیابی بار می‌توان همه بارها را تغذیه کرد، بازیابی بار را می‌توان تجدید آرایش دانست. شکل‌های (۲-۶) و (۲-۷) دو آرایش مختلف از یک شبکه توزیع که دارای ۴ پست و ۱۷ نقطه مانور است را نشان می‌دهد.

^۱ Sectionalizer

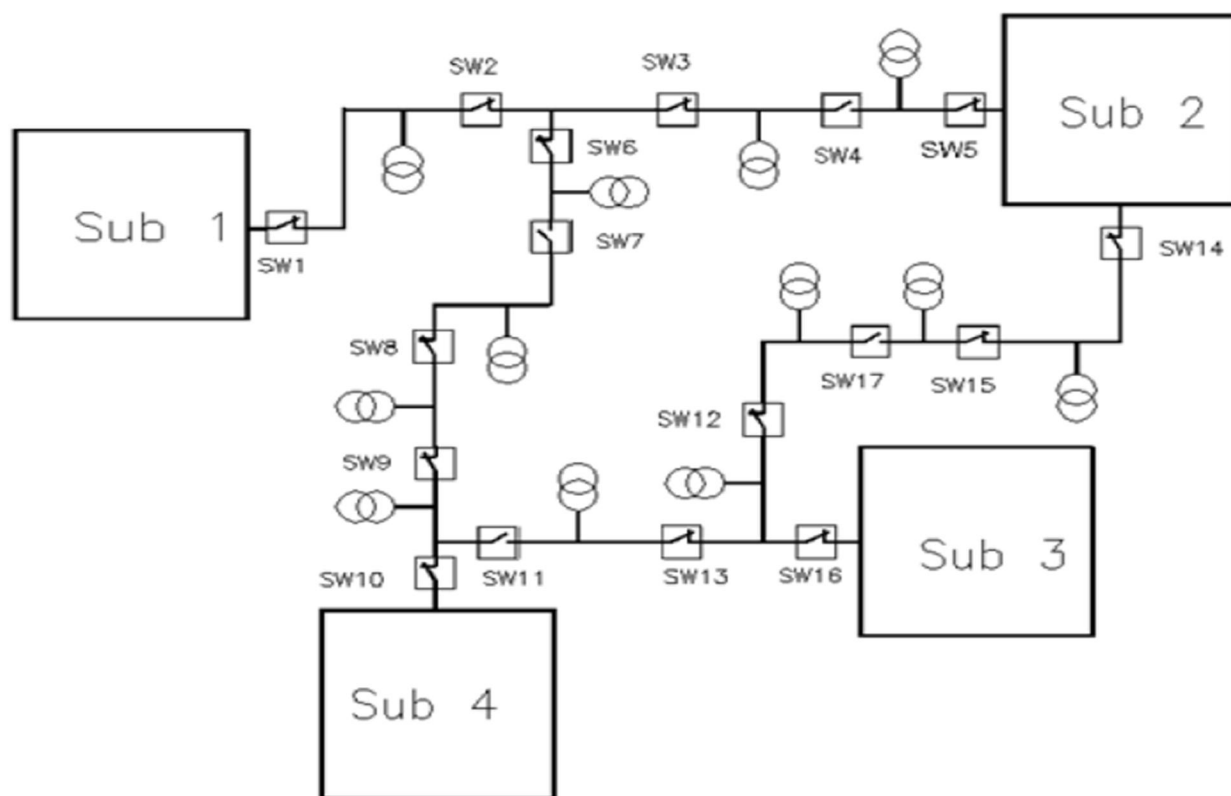
^۲ Tie switches

^۳ Sectionalize switches

^۴ Planning



شکل (۷-۲) : شبکه توزیع با آرایش شعاعی [۱۵]



شکل (۸-۲) : آرایش دیگری از شبکه توزیع قبلی [۱۵]

در تجدید آرایش باید به چند نکته توجه کرد در واقع قیود مسئله تجدید آرایش در حالت کلی موارد زیر است:

- توپولوژی شعاعی شبکه بعد از تجدید آرایش همچنان شعاعی بماند و حلقه‌ای در شبکه موجود نباشد.
 - ولتاژ تمام گره‌ها از حد مجاز خود خارج نشود.
 - جریان خطوط از حد مجاز و محدوده حرارتی خود خارج نشود.
 - پست‌های فوق توزیع دچار اضافه‌بار نشوند.
- از نظر بهینه‌سازی، تجدید آرایش شبکه یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی دودویی-مختلط^۱ است که متغیرهای باینری وضعیت سوئیچ‌ها را نشان می‌دهد و متغیرهای پیوسته شبکه برق را مدل می‌کند [۱۶].
- اگر در یک شبکه توزیع n خط داشته باشیم که بر روی آن‌ها نقطه مانور وجود داشته باشد به تعداد 2^n آرایش مختلف برای این شبکه وجود دارد (اگر $n=20$ باشد آنگاه $2^{20} = 1,048,576$) که البته برخی از آن‌ها به دلیل عدم رعایت قیود غیرقابل قبولند.
- تاکنون روش‌های گوناگونی در حل مسئله تجدید آرایش بکار رفته است که آن‌ها را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم کرد:

- روش‌های ریاضی یا کلاسیک (قطعی یا غیراحتمالی)^۲
- روش‌های ابتکاری^۳ و فراابتکاری^۴ (تصادفی یا احتمالی)^۵

¹ mixed-binary

² Deterministic

³ Heuristic

⁴ Meta-Heuristic

⁵ Stochastic

در روش‌های ریاضی که بسیار جدید هستند، ابتدا مسئلهٔ تجدید آرایش را بصورت یک مسئله محدب^۱ در می‌آورند و سپس آن را به روش‌های لاگرانژ و... حل می‌کنند. از مزایای روش‌های ریاضی این است که جوابی که در پایان بدست می‌آید یک مینیمم یا ماکزیمم مطلق است. اگر بخواهیم یک مسئله را به روش ریاضی بهینه‌سازی کنیم حتماً باید قیود مسئله مانند شعاعی بودن، ولتاژ گره‌ها و جریان شاخه‌ها را در قالب یک تابع ریاضی مدل کنیم که این را می‌توان از معایب این روش دانست.

روش‌های ابتکاری و فراابتکاری ویژگی‌های مشترکی دارند. همهٔ آنها باید آرایش‌های مختلفی را برای بهبود خود در هر مرحله تولید کنند، سپس آرایش‌های مورد قبول را از آرایش‌هایی که نادرست‌اند تشخیص دهد و در انتها هدف مورد نظر ما را (مثلاً قابلیت اطمینان شبکه، تلفات و...) در حل مسئله تجدید آرایش محاسبه کند. از مزایای این روش‌ها این است که نیازی به مدل مسئله به صورت یک تابع ریاضی نیست و می‌توانند مسائل بهینه‌سازی غیر محدب را هم حل کنند. اما این روش‌ها یک عیب عمده دارند و آن این است که ممکن است جواب نهایی یک اکسترمم مطلق نباشد و مسئله در یک اکسترمم محلی گیر کند. در واقع در این روش‌ها به جای بررسی تمام فضای مسئله تنها بخشی از آن بررسی می‌شود و از حجم فضای جست‌وجوی مسئله می‌کاهند و دقت را فدای سرعت می‌کنند.

روش‌های ابتکاری، الگوریتم‌هایی هستند که برای یافتن جواب‌های خوب و سریع و نه لزوماً بهینه برای یک مسئله خاص طراحی می‌شوند. این روش‌ها قابلیت حل همه مسائل بهینه‌سازی را ندارند و برای هر مسئله با توجه به شرایط آن ممکن است راهگشا باشند. برخی از روش‌های ابتکاری در مسئله تجدید آرایش عبارتند از [۱۵]:

۱. روش بستن کلیدها

۲. روش باز نمودن کلیدها

^۱ Convex

۳. روش گروه کلید

روش‌های فراابتکاری معمولاً از طبیعت الهام گرفته می‌شوند و بصورت تصادفی اما هدفمند و کارآمد در فضای جواب مسئله به دنبال جواب بهینه فراگیر حرکت می‌نمایند. برخی از پدیده‌های طبیعی با وجود تصادفی بودن به طرز جالبی به سمت حالت‌های نزدیک به حالت بهینه می‌روند. الگوریتم‌های زیر از مشهورترین الگوریتم‌های فراابتکاری می‌باشند [۱۵].

۱. الگوریتم ژنتیک^۱

۲. الگوریتم کلونی مورچگان^۲

۳. الگوریتم جست‌وجوی ممنوع^۳

۴. الگوریتم جست‌وجوی هارمونی^۴

۵. الگوریتم بازپخت شبیه‌سازی شده^۵

روش‌های دیگری مانند الگوریتم بهینه‌سازی تجمعی ذرات و الگوریتم یادگیری تقویتی و... هم وجود دارد که می‌توانند در حل مسئله تجدید آرایش بکار روند.

روش‌های فراابتکاری مناسب‌ترین روش برای حل مسائل بهینه‌سازی دودویی-مختلط هستند اما از آنجایی که ممکن است جواب فراگیر را بدست نیاورند بهتر است چند بار اجرا شوند تا بهترین جواب بدست بیاید.

¹ Genetic Algorithm

² Ant-colony Algorithm

³ Tabu-search Algorithm

⁴ Harmony-search Algorithm

⁵ Simulated-annealing Algorithm

۲-۴-۲ اهداف و مزایای تجدید آرایش

۲-۴-۲-۱ بازیابی بار و افزایش قابلیت اطمینان

یکی از مهم‌ترین نتایج تجدید آرایش شبکه، بازیابی بار می‌باشد. وقتی خطایی در شبکه توزیع رخ می‌دهد ممکن است بخش وسیعی از شبکه بی‌برق شود. اما با عملیات مانور و تغییر آرایش شبکه می‌توان برخی بارها را بازیابی نمود. در واقع با تجدید آرایش قابلیت اطمینان سیستم می‌تواند بهبود و افزایش یابد و میزان این بهبود هم به تعداد خطوطی بستگی دارد که NO هستند زیرا هر چه مسیر برای تغذیه گره-های بی‌برق بیشتر باشد احتمال اینکه آرایشی پیدا شود که قیود را ارضا کند بیشتر است. در حالت کلی هم می‌توان تجدید آرایش را با هدف بهبود قابلیت اطمینان انجام داد به گونه‌ای که کمترین احتمال خرابی و از دست دادن بار برای سیستم بدست آید.

۲-۴-۲-۲ کاهش تلفات

یکی دیگر از مهم‌ترین مزایای تجدید آرایش، کاهش تلفات شبکه توزیع می‌باشد. همانطور که می‌دانیم در شبکه توزیع شعاعی، چه در آن DG وجود داشته باشد و چه نباشد، هر مصرف‌کننده توسط یک سری خطوط و از یک مسیر خاصی انرژی الکتریکی را دریافت می‌کند. حال اگر بتوان با تغییر توپولوژی شبکه مسیر تغذیه مصرف‌کننده‌ها را به گونه‌ای تغییر داد که این مسیر دارای عبور توان کم‌تلفات‌تری نسبت به مسیر قبلی باشد، می‌توان تلفات شبکه را کاهش داد. بنابراین همواره آرایشی وجود دارد که دارای کمترین تلفات می‌باشد. در واقع کاهش تلفات از طریق تجدید آرایش، به سرمایه‌گذاری و خرید تجهیزات و اصلاح شبکه نیازی ندارد و تنها با تغییر در آرایش شبکه موجود بدست می‌آید [۱۵].

۲-۴-۳ بهبود پروفیل ولتاژ و پایداری ولتاژ

از دید مصرف‌کنندگان داشتن ولتاژ در حد مجاز یکی از فاکتورهای مهم کیفیت برق می‌باشد که باعث می‌شود طول عمر تجهیزات کاهش پیدا نکند. این موضوع در شبکه‌های توزیع شعاعی بیشتر اتفاق می‌افتد. لازم بذکر است بهبود پروفیل ولتاژ شبکه تقریباً مترادف با کاهش تلفات می‌باشد [۱۵].

شاخص‌های متعددی جهت ارزیابی درجه امنیت سیستم قدرت از دیدگاه پایداری استاتیکی ولتاژ وجود دارد که اساس همگی آن‌ها از نقطه بحرانی منحنی $P-V$ گرفته شده است. بر این اساس بهره‌بردار با داشتن نقطه کار فعلی و شرایط بهره‌برداری آینده از سیستم، به ارزیابی درجه ایمنی سیستم از دیدگاه پایداری استاتیکی ولتاژ می‌پردازد [۱۷].

۲-۴-۴ تعمیرات دوره‌ای تجهیزات و توسعه شبکه

شبکه‌های توزیع به دلیل تغییرات و توسعه جدید نیازمند خاموشی‌های با برنامه جهت تعمیرات دوره‌ای و توسعه شبکه می‌باشد. در این مواقع با تغییر آرایش شبکه و تغذیه مشترکین از مسیرهای دیگر می‌توان تعداد مشترکینی که بی‌برق می‌شوند را به حداقل رساند [۱۵].

۲-۴-۵ متعادل نمودن بار خطوط توزیع

یکی از مشکلاتی که شبکه‌های توزیع همواره با آن مواجه هستند عدم تعادل بار بین خطوط توزیع می‌باشد که سبب عدم استفاده بهینه شبکه می‌شود. زیرا از یک خط کمتر از ظرفیت نامی و از خط دیگر بیشتر از ظرفیت نامی بهره‌برداری می‌شود و افزایش تلفات، ضعف ولتاژ و گاهی خاموشی مشترکین را به دنبال دارد. با تجدید آرایش شبکه می‌توان بار را از فیدر پربار به روی فیدرهای کم‌بارتر منتقل نمود [۱۵].

۲-۴-۳ مروری بر کارهای گذشته در زمینه تجدید آرایش

همانطور که گفته شد کارهایی که در زمینه تجدید آرایش انجام شده است را می‌توان در دو بخش روش‌های ریاضی و روش‌های ابتکاری و فراابتکاری قرار داد. از آنجایی که روش‌های تصادفی قدمت بیشتری دارند از آن‌ها شروع می‌کنیم. در بین روش‌های تصادفی، روش‌های ابتکاری قدیمی‌تر هستند.

آقایان Merlin و Back اولین کسانی بودند که از روش‌های ابتکاری برای حل مسئله تجدید آرایش استفاده کردند. در روش Merlin و Back ابتدا فرض شده است تمام سوئیچ‌ها بسته است و شبکه توزیع، که با ساختار درخت فراگیر نمایش داده می‌شود، در وضعیتی است که دارای حلقه است سپس بر اساس استراتژی خاصی شاخه‌ها بصورت تک تک باز می‌شوند و در هر مرحله تلفات شبکه را بهبود می‌بخشند تا اینکه آرایش با تلفات مینیمم بدست آید [۱۸]. یک روش ابتکاری متفاوت در [۱۹] بر اساس مفهوم تعویض سوئیچ انجام شد، به اینصورت که باز کردن یک سوئیچ متناظر است با بستن سوئیچ دیگر، تا شعاعی بودن شبکه حفظ شود. تمام روش‌های بالا به صورت تک‌هدفه و فقط با هدف کاهش تلفات انجام شده است. آقای Baran و Wu نیز از روش باز نمودن کلیدها استفاده کردند و ابتدا همه کلیدها را بسته در نظر گرفتند و سپس با انجام پخش بار، حلقه‌ای که بیشترین تلفات را دارا می‌باشد انتخاب می‌شود و باز می‌شود این روند تا باز شدن آخرین کلید از آخرین حلقه موجود ادامه می‌یابد تا به بهترین آرایش منجر شود [۲۰]. کار Merlin و Back به وسیله آقای شیرمحمدی و Hong بهبود داده شد [۲۱]. آن‌ها شاخه‌ای که کمترین بار را تحمل می‌کند را باز می‌کردند و آرایش جدیدی که با این عمل پدید می‌آمد را از نظر برآورده ساختن شرایط و محدودیت‌ها مورد بررسی قرار می‌دادند. اکثر روش‌های ابتکاری پیشنهادشده، از کار آقایان Merlin و Back در [۱۸] نشأت گرفته است. آقای Gomez در [۲۲] از یک پخش بار بهینه و با استفاده از تحلیل حساسیت برای مشخص کردن سوئیچ بعدی که باید باز شود بهره برد. آقای Abulwafa در [۲۳] ضمن ارائه روشی جدید برای محاسبه پخش بار توزیع بر اساس تئوری گراف، به

بررسی مسئله تجدید آرایش پرداخت به اینصورت که با اعمال پخش بار اختلاف ولتاژ دوسر کلیدهای ارتباطی محاسبه می‌شود، سپس در بین کلیدهای ارتباطی آنکه بیشترین اختلاف ولتاژ را دارد بسته می‌شود و سپس برای اینکه حلقه ایجاد نشود، کلید دیگری باز می‌شود و این روند ادامه دارد تا آرایش با مینیمم تلفات بدست آید. روش‌های ابتکاری دیگری هم وجود دارد که به ترتیب در [۲۴ و ۲۵] آورده شده است. اما در روش‌های فراابتکاری کارهای بسیار زیادی انجام شده است و برخلاف روش‌های ابتکاری برای سیستم‌های بزرگ هم به خوبی جواب می‌دهد. آقای Nara اولین کسی بود که از الگوریتم ژنتیک (GA) برای حل مسئله تجدید آرایش با هدف بهبود تلفات استفاده کرد [۲۶]. به مرور زمان روش‌های جدیدتری هم برای حل مسئله تجدید آرایش استفاده شدند. در [۲۷] Alshehri از روش کلونی مورچگان استفاده کرد که جست‌وجو را بر اساس طمع^۱ و فیدبک مثبت انجام می‌دهد و تلفات توان و متعادل‌سازی بار را بهبود می‌بخشد این الگوریتم از رفتار طبیعی مورچگان برای پیدا کردن غذا الهام گرفته است. در [۲۸] و [۲۹] به ترتیب از روش بهینه‌سازی ذرات تجمعی و جست‌وجوی تابو استفاده شده است. بعدها نسخه‌های جدیدتری از الگوریتم ژنتیک انتشار یافت. در [۳۰] از روش میکروژنتیک برای حل مسئله چندهدفه تجدید آرایش استفاده شد و در آن تلفات توان در چند مرحله بطور دو به دو به همراه یکی از شاخص‌های قابلیت اطمینان بطور همزمان بهبود بخشیده شد که نقاطی تحت عنوان پارتوفرانس در هر مرحله بدست آمد. برخی با ترکیب چند روش فراابتکاری جهت حل مسئله تجدید آرایش استفاده کردند. آقای Olamaei دو الگوریتم کلونی مورچگان و بازپخت فلزات را با یکدیگر ترکیب کرد و از آن برای کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ استفاده کرد [۳۱].

اخیراً از روش‌های فراابتکاری برای حل مسئله تجدید آرایش در حضور DG استفاده کرده‌اند. مرجع [۳۲] از روش GA برای این کار استفاده کرده است. در مرجع [۳۳] آقای نیکنام با استفاده از یک روش

^۱ Greedy

بهینه‌سازی چندهدفه به نام جفت‌گیری زنبور عسل به بررسی مسئله تجدید آرایش و همزمان، تعیین ظرفیت بهینه DG‌های تجدیدپذیر شامل توربین بادی و سلول‌های سوختی و پنل‌های خورشیدی پرداخته است و جواب‌ها در انتها بصورت جبهه پارتو نشان داده می‌شود لازم بذکر است در این مرجع مکان DG‌ها از قبل معلوم است. در مرجع [۳۴] از بازآرایی در حضور منابع تولید پراکنده برای بهبود ضریب تعادل بار و حداقل‌سازی تلفات اهمی استفاده نموده‌اند. همچنین در مرجع [۳۵] از الگوریتم جستجوی تابو برای حداقل‌سازی تلفات اهمی و حداقل‌سازی هزینه تولید توان منابع تولید پراکنده استفاده شده است. آقای Olamaei و همکارانش از بازآرایی در حضور منابع تولید پراکنده برای بهبود پروفیل ولتاژ و حداقل‌سازی هزینه تولید و کاهش کلیدزنی بهره جسته‌اند [۲۹].

در روش‌های ریاضی می‌توان به کار آقای Romas اشاره کرد که مسئله تجدید آرایش را خطی‌سازی کرد و با استفاده از برنامه‌ریزی خطی آن را با هدف کاهش تلفات حل کرد اما عیب اصلی روش وی این بود که تلفات را به صورت دقیق مدل نمی‌کرد [۳۶]. آقای Khodr و همکارانش در [۳۷] یک مدل دقیقی از تلفات شبکه را در روش تجزیه Benders بکار گرفتند. اما کار آقای Khodr به دلیل غیر محدب بودن نمی‌تواند حل مسئله به جواب فراگیر را تضمین کند. در مرجع [۱۶] مسئله تجدید آرایش با هدف کاهش تلفات، به صورت یک مسئله محدب عدد صحیح-ترکیبی^۱ بر اساس قالب مربعی محدب، از فرمول‌های پخش بار فرمول‌بندی شده است و مقدار دقیق تلفات شبکه را بهینه می‌کند. استفاده از بهینه‌سازی عدد صحیح-ترکیبی از وقتی که برای در مدار قرار دادن نیروگاه‌ها بکار برده شد و سالانه باعث ذخیره میلیون-ها دلار شد در صنعت برق رشد پیدا کرد.

¹ Mixed-Integer

۶-۲ خلاصه فصل

در این فصل به تعاریف و مفاهیم کلی پیرامون منابع تولید پراکنده، قابلیت اطمینان، تجدید آرایش پرداخته شده است. ابتدا در مورد اثرات مثبت و منفی تولید پراکنده بر روی شبکه برق و بخصوص شبکه توزیع بحث شد و گفته شد که حضور منابع تولید پراکنده در شبکه باعث تغییر دادن این ساختار شارش توان می‌شود که این امر می‌تواند تأثیرات فراوانی بر عملکرد برنامه‌ریزی شده متداول سیستم توزیع داشته باشد. سپس به بررسی شاخص‌های قابلیت اطمینان از نظر بار و مشترک پرداخته شد. مفهوم تجدید آرایش و تعاریف و قیود مربوط به آن بطور کامل گفته شد. اهداف و مزایای تجدید آرایش و روش‌های حل مسئله تجدید آرایش نیز بصورت کلی بررسی شد. در انتها نیز برخی کارهایی که سایر محققان تاکنون در زمینه تجدید آرایش و جایابی بهینه در مقالات و نشریه‌ها انجام داده‌اند بیان گردید.

پخش بار توزیع و الگوریتم هوشمند

NSGA II

۳-۱ مقدمه

یکی از نیازمندی‌ها در هر مسئله تجدید آرایش پخش بار است. مسئله تجدید آرایش چه به روش‌های ریاضی حل شود و چه به روش‌های ابتکاری و فراابتکاری، به علت اینکه باید قیودی مانند ولتاژ گره‌ها و جریان شاخه‌ها در آن رعایت شود نیاز به پخش بار دارد. بنابراین لازم است به پخش بار توزیع توجه ویژه‌ای بشود. یکی دیگر از نیازمندی‌های مسئله تجدید آرایش، روش حل آن‌هاست. از آنجایی که تقریباً همه روش‌های ریاضی که تاکنون در حل مسئله تجدید آرایش بکار رفته است به صورت تک‌هدفه و فقط برای مینیمم کردن تلفات بکار رفته‌اند و از آنجایی که در این پایان‌نامه قرار است تجدید آرایش همزمان با جابجایی DGها انجام شود و همینطور می‌خواهیم همزمان تلفات و قابلیت اطمینان را بهبود بخشیم لذا مدل‌سازی ریاضی آن کار بسیار دشواری است. بنابراین مجبوریم به سمت روش‌های فراابتکاری و الگوریتم‌های هوشمند برویم. در بخش‌های قبلی الگوریتم‌های هوشمند مختلفی نظیر GA، μ GA، PSO، جفت‌گیری زنبور عسل و... نام برده شده و گفته شده است در مسائل تجدید آرایش بکار رفته‌اند. یکی دیگر از روش‌های هوشمند که کارایی بسیار خوبی در مسائل چندهدفه دارد الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ (NSGA II)^۲ است که در آن از روش وزن‌دهی به توابع استفاده نمی‌شود و پس از اجرای برنامه جواب‌ها در قالب جبهه پارتو^۳ نمایش داده می‌شوند. روش مورد استفاده برای بهینه‌سازی در این پایان‌نامه NSGA II است.

¹ Microgenetic Algorithm

² Nondominated Sorting Genetic Algorithm II

³ Pareto Optimal

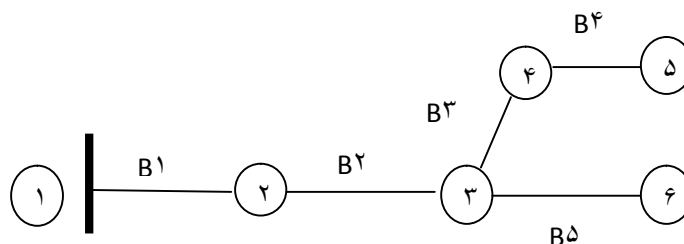
۲-۳ پخش بار توزیع

یکی از ابزارهای مهم در حل مسائل سیستم‌های قدرت پخش بار می‌باشد. پخش بار در بسیاری مسائل سیستم مانند تجدید آرایش شبکه، محاسبه تلفات، محاسبه افت ولتاژ، جابجایی بهینه DG و غیره کاربرد دارد. پخش بارهای نیوتون-رافسون و گوس-سایدل عمده‌تاً برای شبکه‌های انتقال به کار می‌روند. این پخش بارها به دلیل اینکه نسبت R/X در شبکه توزیع زیاد است در **برخی مواقع** یا همگرا نمی‌شوند و یا در صورت همگرا شدن جواب دقیقی نمی‌دهند. در نتیجه به سمت روش‌های دیگر که برای محاسبه پخش بار در شبکه‌های توزیع است می‌رویم. روش‌های مختلفی برای انجام پخش بار در سیستم توزیع شعاعی وجود دارد که از جمله مهم‌ترین و اصلی‌ترین روش‌ها، روش پیشرو-پسرو [۱۵-۳۸-۳۹]، روش محاسبه ماتریس امپدانس [۴۰] و روش مبتنی بر نظریه گراف‌ها می‌باشد [۲۳]. در ادامه به بررسی و تشریح یک نوع الگوریتم پخش بار توزیع پرداخته می‌شود.

محاسبات پخش بار یکی از محاسبات کلیدی برای تعیین رفتار استاتیکی سیستم توزیع می‌باشد. در حضور تولید پراکنده روش‌های متداول پخش بار توزیع دیگر کارایی لازم را نداشته و باید در این روش‌ها تغییراتی حاصل گردد. واحدهای تولید پراکنده بصورت شین‌های PV یا PQ در محاسبات پخش بار مدل می‌شوند. شین‌های PQ معمولاً بصورت یک بار منفی در مطالعات پخش بار در نظر گرفته می‌شوند. اما برای مدل کردن شین‌های PV نیاز به فرآیندهای اضافه‌تری در حل پخش بار می‌باشد [۳۹]. از پخش باری که در ادامه تشریح خواهد شد می‌توان در حضور DG، وقتی که به صورت بار PQ، مدل می‌شوند استفاده کرد.

۳-۲-۱ بیان گام به گام پخش بار توزیع

پخش بارهایی که در مسئله تجدید آرایش استفاده می‌شوند باید به صورت عمومی^۱ نوشته شوند یعنی برای آرایش‌های مختلف جواب دهند. بنابراین الگوریتم ابتدا باید قدرت تشخیص توپولوژی شبکه را داشته باشد. یعنی اینکه تمام شاخه‌های مربوط به شبکه را بطور جداگانه، از باس اسلک تا باس انتهایی مربوط به آن شاخه را داشته باشد. یعنی اگر شبکه مثلاً چهار شاخه داشت باید دو پارامتر تعریف شود که یکی شماره خطوط مربوط به هر شاخه، از خط اول تا خط انتهایی شاخه مورد نظر، را نشان می‌دهد و دیگری شماره باس‌هایی که در هر شاخه، از باس اسلک تا باس انتهایی شاخه مورد نظر، قرار دارند را نشان می‌دهد. قبل از اینکه الگوریتم تشخیص توپولوژی تشریح شود باید گفته شود که هر آرایشی که به برنامه پخش بار داده می‌شود تمام اطلاعات مربوط به آن آرایش که در پخش بار استفاده می‌شود شامل توان اکتیو و راکتیو باس‌ها، شماره خطوط، شماره باس‌های دو سر هر خط و مقاومت و راکتانس هر خط هم به پخش بار داده می‌شود. فرض کنید توپولوژی شبکه زیر را می‌خواهیم بدست آوریم.



شکل (۳-۱): شبکه توزیع نمونه برای تشخیص توپولوژی

¹ General

جدول (۳-۱) : اطلاعات مربوط به شبکه توزیع نمونه

شماره خط	۱	۲	۳	۴	۵
باس ابتدا	۱	۲	۳	۴	۳
باس انتها	۲	۳	۴	۵	۶

الگوریتم تشخیص توپولوژی به صورت زیر است:

۱. ابتدا باید بدانیم در هر آرایش چند شاخه وجود دارد. برای اینکار تمام باس‌های ابتدا و انتها را در بردار زیر قرار می‌دهیم.

$$S=[۶,۵,۴,۳,۲,۳,۴,۳,۲,۱]$$

باس‌هایی که بیش از دو بار در بردار S تکرار شدند نشان می‌دهد که از آن باس‌ها شاخه خارج می‌شود. تعداد شاخه‌های خروجی برابر است با تعداد تکرار منهای ۲. مثلاً گره ۳، سه بار تکرار شد بنابراین یک شاخه از آن خارج شده است. LB بیانگر تعداد شاخه‌ها است و در ابتدا برابر یک است.

۲. به ازای هر باس شرط بالا چک می‌شود و به LB اضافه می‌شود. در شبکه بالا فقط باس ۳ بیش از دو بار تکرار شده است بنابراین تعداد شاخه‌ها برابر ۲ می‌شود.

۳. اکنون به تعداد LB روند زیر باید انجام شود.

- از باس اسلک شروع می‌کنیم و متغیر دلخواه P را برابر یک قرار می‌دهیم.
- سپس از جدول (۳-۱) چک می‌کنیم که p جزء باس ابتدا یا انتهای کدام خط است. اگر جزء باس ابتدای خط بود $pp=p$ می‌شود و p را برابر باس انتها قرار می‌دهیم و اگر جزء باس انتهای خط بود باز هم $pp=p$ می‌شود و p را برابر باس انتها قرار می‌دهیم. و سپس

شماره خط را در بردار L و به ترتیب pp و p را در بردار N ذخیره می‌کنیم و در نهایت ستون مربوط به آن خط را حذف می‌کنیم.

- مرحله قبل را آنقدر ادامه می‌دهیم که به هنگام چک کردن P ، هیچ خطی پیدا نشود. لازم به ذکر است اگر در هنگام چک کردن متوجه شدیم که p در بیش از یک خط وجود داشت (یعنی به گره‌ای رسیدیم که چند شاخه از آن خارج می‌شود که در اینجا شماره ۳ است) یک خط را به دلخواه انتخاب می‌کنیم اما باید توجه کنیم که وقتی شماره خطوط و گره‌های شاخه‌های بعدی را می‌خواهیم پیدا کنیم وقتی به گره ۳ رسیدیم بین خطوط متصل به باس ۳ خط انتخاب شده در مرحله قبل را انتخاب نکنیم. روند اجرای تشخیص توپولوژی به صورت زیر است.

جدول (۲-۳) : جدول اتصالات شاخه و گره برای تشخیص توپولوژی

شماره خط		۲	۳	۴	۵
باس ابتدا		۲	۳	۴	۳
باس انتها		۳	۴	۵	۶

$$L_1 = [1] \quad N_1 = [1, 2]$$

اکنون $p = 2$ است و از بین خطوط بالا فقط در خط ۲، باس ۲ وجود دارد. L_1 و

N_1 به ترتیب شماره خطوط و گره‌های شاخه یک را نشان می‌دهد.

جدول (۳-۳) : جدول اتصالات شاخه و گره تغییر یافته برای تشخیص توپولوژی

شماره خط			۳	۴	۵
باس ابتدا			۳	۴	۳
باس انتها			۴	۵	۶

$$L_1=[1,2] \quad N_1=[3,2,2,1]$$

در این مرحله $p=3$ است و این باس در خطوط ۳ و ۵ وجود دارد. بنابراین به دلخواه یک خط مثلاً خط ۵ انتخاب می‌شود.

جدول (۴-۳) : تغییر مجدد جدول اتصالات شاخه و گره برای تشخیص توپولوژی

شماره خط			۳	۴	
باس ابتدا			۳	۴	
باس انتها			۴	۵	

$$L_1=[5,2,1] \quad N_1=[6,3,3,2,2,1]$$

عدد ۶ در هیچ خطی وجود ندارد به این ترتیب یک شاخه مشخص شد. و برای شاخه بعدی همین روند از اول شروع می‌شود با این تفاوت که وقتی به گره ۳ رسید دیگر خط ۵ که قبلاً انتخاب شد انتخاب نمی‌شود. در نهایت L و N برای هر ۲ شاخه بصورت زیر می‌شود. که با حذف گره‌های تکراری، بردار N در نهایت به صورت زیر در می‌آید.

$$L_1=[5,2,1] \quad N_1=[6,3,2,1]$$

$$L_2=[4,3,2,1] \quad N_2=[5,4,3,2,1]$$

بنابراین با استفاده از الگوریتم بالا می‌توانیم شاخه‌های هر آرایش را بدست آوریم. با داشتن شاخه‌ها محاسبات پخش بار شامل محاسبه ماتریس‌های BCBV و BIBC (که در ادامه تعریف خواهند شد) راحت‌تر پیاده‌سازی می‌شوند.

اکنون با استفاده از فرمول‌های مربوط به مرجع [۲۳] پخش بار را به صورت زیر حل می‌کنیم. جریان تزریقی در هر باس از رابطه زیر بدست می‌آید. P_i و Q_i و V_i به ترتیب توان اکتیو و راکتیو بار و ولتاژ باس i ام می‌باشد. علامت منفی به این دلیل است که بار در هر باس مصرف می‌شود پس باید توان‌های اکتیو و راکتیو که بصورت مقدار مثبت وارد می‌شوند، منفی شوند.

$$I_i = \left(\frac{-(P_i + jQ_i)}{V_i} \right)^* \quad (1-3)$$

ارتباط بین جریان تزریقی و جریان شاخه‌ها توسط ماتریس (BIBC) قابل استخراج است.

$$B_1 = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (2-3)$$

$$B_5 = I_6$$

اگر روابط فوق به صورت ماتریسی نوشته شود ماتریس BIBC به دست می‌آید.

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} = [BIBC][I] \quad (3-3)$$

ارتباط بین جریان شاخه‌ها و ولتاژ گره‌ها هم توسط ماتریس (BCBV) قابل استخراج است.

$$V_2 = V_1 - B_1 \times Z_{12} \quad (4-3)$$

$$V_3 = V_2 - B_2 \times Z_{23} \quad (5-3)$$

$$V_4 = V_3 - B_3 \times Z_{34} = V_1 - B_1 \times Z_{12} - B_2 \times Z_{23} - B_3 \times Z_{34} \quad (6-3)$$

بنابراین رابطه بین اختلاف ولتاژ نسبت به باس اسلک و جریان شاخه‌ها به صورت زیر است:

$$\Delta V = BCBV \times B = BCBV \times BIBC \times I \quad (7-3)$$

$$\Delta V = DLF \times I \quad (8-3)$$

بعد از محاسبه DLF، ابتدا به همه گره‌ها مقدار اولیه یک داده می‌شود. سپس تا زمانی که خطا از

مقدار مورد نظر کمتر نشد روند زیر ادامه پیدا می‌کند:

- با توجه به مقدار ولتاژ و توان بارها جریان تزریقی هر باس محاسبه می‌شود.
- با استفاده از DLF، ΔV محاسبه می‌شود و طبق رابطه زیر ولتاژ هر باس محاسبه می‌شود:

$$V_i = V_1 + \Delta V \quad (9-3)$$

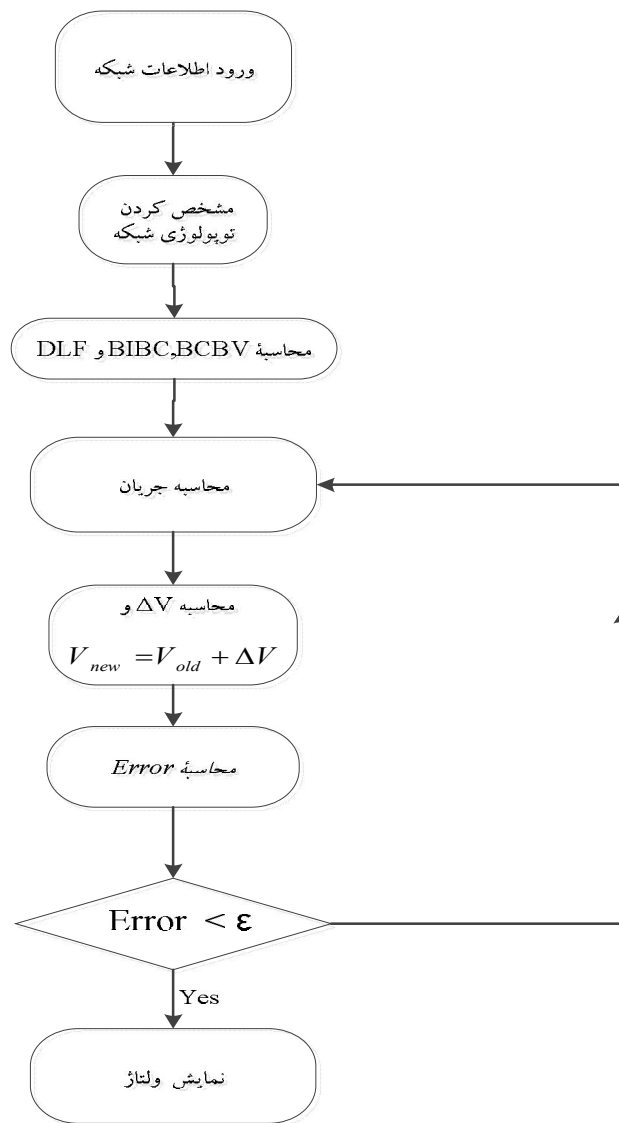
- مقدار خطا در هر مرحله از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$error = \max(|V_i^{k+1} - V_i^k|) \quad (10-3)$$

در نهایت الگوریتم بالا همگرا می‌شود و ولتاژها محاسبه می‌شوند. جریان خطوط هم از رابطه (3-3)

بدست می‌آید که به وسیله آن می‌توان تلفات را هم محاسبه کرد. الگوریتم پخش بار بالا در شکل (3-2)

آورده شده است.



شکل (۳-۲): فلوچارت مربوط به پخش بار

۳-۳ الگوریتم هوشمند NSGA II

در بسیاری از مسائل بهینه‌سازی پیدا کردن حالت بهینه با استفاده از روش‌های تحلیلی سنتی امکان‌پذیر نبوده یا به سختی امکان‌پذیر می‌باشد. از اینرو الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری به خاطر عدم نیاز به مدل‌سازی ریاضی و عدم سروکار داشتن با مشکلات مربوط به مشتق‌ها و پیوستگی‌ها، سادگی روش و سهولت پیاده‌سازی آن‌ها به زبان کامپیوتر مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. یکی از زیرمجموعه‌های الگوریتم‌های تکاملی الگوریتم ژنتیک می‌باشد که یک روش جست‌وجوی کلی است و از قوانین تکامل بیولوژیک طبیعی تقلید می‌کند و برای بسیاری از مسائل بهینه‌سازی قابل استفاده می‌باشد. این الگوریتم به خاطر بدست آوردن جواب‌های بهتر، بر روی یک سری از جواب‌های مسئله قانون بقای بهترین را اعمال می‌کند. این فرآیند باعث می‌شود که نسل‌های جدید با شرایط مسأله سازگارتر باشند [۱۵].

از آنجاییکه اگر تجدید آرایش شبکه توزیع بصورت یک مسئله چندهدفه^۱ در نظر گرفته شود و بطور همزمان دو یا چند هدف بهینه گردد، می‌تواند نتیجه بهتری برای شبکه توزیع به ارمغان بیاورد، در این بخش به بررسی یک الگوریتم چندهدفه پرداخته می‌شود. روش‌های مختلفی برای حل مسائل چندهدفه وجود دارد که شامل موارد زیر می‌شود:

• مجموع وزن‌دار^۲

این روش از روش‌های دیگر قدمت و سادگی بیشتری دارد و به این صورت است که در آن هر تابع هدف، در یک ضریب وزنی (بستگی به درجه اهمیت تابع هدف دارد همچنین مجموع ضرایب وزنی باید یک باشد) ضرب می‌شود و سپس توابع حاصل با وزن‌های مختلف با هم جمع و به عنوان یک تابع هدف

^۱ Multi Objective

^۲ Weighted Sum

کلی برای مسأله بهینه‌سازی اختیار می‌شود. در این حالت مسئله بهینه‌سازی، به یک مسئله تک‌هدفه تبدیل می‌شود اما یک عیب اساسی دارد و آن این است که توابع هدف اختیار شده در یک مسأله بهینه‌سازی چندهدفه لزوماً از یک جنس نیستند و در حالت کلی، حوزه تغییرات متفاوتی را خواهند داشت. بنابراین، ذاتاً جمع نمودن این توابع با یکدیگر اشتباه است و این روش به‌تنهایی نمی‌تواند کارآمد باشد زیرا توابع هدف برای جمع شدن نیازمندند که نرمالیزه شوند و در این حالت تا حدود بسیار زیادی مشکل بالا حل خواهد شد اما به‌طور کامل قابل حل نیست. گاهی اوقات می‌توان توابع هدف مورد نظر را همجنس کرد بگونه‌ای که همگی یک کمیت مشترک را معرفی نمایند. برای مثال، در بسیاری از مسائل می‌توان به جای اتخاذ مستقیم یک کمیت به عنوان تابع هدف، هزینه پولی معادل با آن را در نظر گرفت و هزینه‌های مربوط به کمیت‌های مختلف را با هم جمع نمود. این روش در صورتی که عملی و تحقق‌پذیر باشد، روش درستی است، اما در پاره‌ای از موارد همجنس نمودن توابع هدف مختلف کاری دشوار و یا غیرواقعی است. مثلاً توابع هدف تلفات و پروفیل ولتاژ را در نظر بگیرید، تبدیل تلفات را می‌توان به هزینه تبدیل کرد اما تبدیل پروفیل ولتاژ به هزینه کار بسیار دشواری است.

• جبهه پارتو^۱

این روش، الگوریتم متفاوتی با نام بهینه‌سازی پارتو می‌باشد. در این روش به‌جای یک پاسخ بهینه مجموعه‌ای از چندین جواب بهینه برای مسأله بهینه‌سازی چندهدفه حاصل می‌گردد که هیچ کدام برتری مطلق بر دیگری ندارد و هر کدام معادل با اتخاذ ترکیب خاصی از مقادیر وزن‌ها برای توابع هدف مختلف می‌باشند. به بیان دیگر، جواب روش مجموع وزن‌دار، یکی از جواب‌های روش جبهه پارتو است. هر جواب پارتو درجه اهمیت خاصی را به توابع مختلف اختصاص داده و به ازای آن پاسخ بهینه را ارائه می‌دهد. از این جهت، مجموعه جواب حاصل از روش پارتو این امکان را در اختیار می‌گذارد که با توجه به درجه

^۱ Pareto Front

اهمیت قائل شده برای توابع هدف مختلف، انتخاب بهینه انجام شود. از این رو با توجه به مزیت این روش، در این بخش، مسأله بهینه‌سازی فوق با استفاده از یک نوع الگوریتم ژنتیک به نام الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ (NSGA II) حل می‌شود که اولین بار توسط پروفیسور Kalyanmoy Deb و همکارانش در [۴۱] معرفی شده است. سه ویژگی اصلی این روش عبارتست از: الف- پیچیدگی محاسباتی کم ب-نخبه‌گرایی^۱ (مانع شدن از، از دست دادن جواب‌های خوب که قبلاً پیدا شدند) ج- مشخص کردن پارامتر اشتراکی (σ_{share}). اخیراً در تجدید آرایش برای شبکه توزیع از این الگوریتم بهینه‌سازی استفاده شده است [۴۲] و در زیر بخشی از توضیحات آن که به بهینه‌سازی مربوط می‌شود آورده شده است.

با اضافه شدن دو عملگر مهم به الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه معمولی، الگوریتم چندهدفه NSGA II حاصل می‌شود که به جای یافتن بهترین جواب، دسته‌ای از بهترین جواب‌ها را نتیجه می‌دهد که با نام جبهه پارتو شناخته می‌شوند. این دو عملگر عبارتند از: ۱) عملگری که یک معیار برتری (رتبه) براساس مرتب‌سازی نامغلوب به اعضای جمعیت اختصاص می‌دهد و ۲) عملگری که تنوع جواب را در میان جواب‌های با رتبه برابر حفظ نگه می‌دارد.

۳-۳-۱ مفهوم غلبه^۲

در یک مسئله مینیمم‌سازی با چند تابع هدف، در صورتی نقطه X بر نقطه Y غالب است که به‌ازای تمامی توابع هدف مورد نظر Y از X بهتر (کمتر) نباشد و X حداقل در یک تابع هدف اکیداً بهتر از Y باشد. این مفهوم به صورت ریاضی به شکل زیر بیان می‌شود:

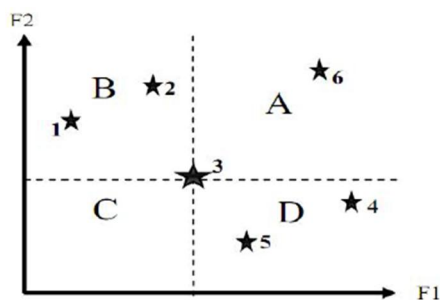
^۱ Elitism

^۲ dominance

$$X \leq Y(X \text{ dom } Y) \Leftrightarrow \forall i : X_i \leq Y_i \wedge \exists i_0 : X_{i_0} < Y_{i_0} \quad (۱۱-۳)$$

۳-۲ مفهوم مرتب سازی نامغلوب

در یک مسئله بهینه سازی با یک تابع هدف، معیار برتری جوابها نسبت به هم بسیار ساده و بدیهی است و در صورتی که مسئله مورد بحث یک مسئله مینیمم سازی باشد، جوابی که کمترین مقدار تابع هدف را دارا باشد مطلوب است و بر سایر جوابها برتری دارد. اما در مسائل چندهدفه دیگر به آسانی نمی توان در مورد برتری جوابها نسبت به یکدیگر نظر قطعی داد. در اکثر موارد، نقاطی یافت می شود که هیچ کدام بر دیگری برتری مطلق ندارد و نمی توان با مفهوم غلبه، دو به دو بین آنها مقایسه ای انجام داد. به این گونه نقاط در هر مرحله اصطلاحاً جبهه اول پارتو اطلاق می شود. در پایان الگوریتم، نقاط جبهه اول پارتو حاصل مجموعه جواب مسئله را تشکیل خواهند داد. این موضوع با توجه به شکل (۳-۳) که مثالی برای یک مسئله کمینه سازی با دو تابع هدف می باشد شرح داده می شود.



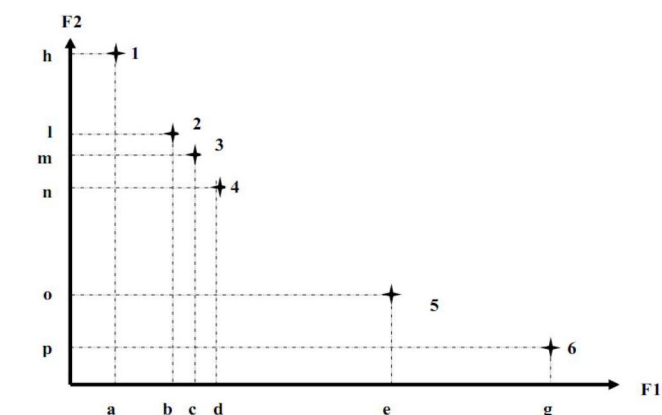
شکل (۳-۳): چند نقطه از فضای جوابهای یک مسئله فرضی [۴۲]

مطابق با شکل فوق، نقاط مختلف پیشنهاد شده در مرحله خاصی از الگوریتم بر حسب مقادیر توابع هدفشان یعنی f_1 و f_2 رسم گردیده اند. برای مثال نقطه ۳ را در نظر بگیرید. این نقطه بر تمامی نقاط موجود در فضای A برتری دارد، یعنی مقدار توابع هدف f_1 و f_2 برای این نقطه نسبت به مقدار توابع هدف

f_1 و f_2 برای تمامی نقاط موجود در صفحه A کمتر است. لذا این نقطه همواره بر سایر نقاط موجود در صفحه A غلبه می‌کند. همچنین همه نقاط موجود در فضای C بر نقطه ۳ برتری دارند. به عبارت دیگر مقدار توابع هدف f_1 و f_2 برای نقطه ۳ نسبت به مقدار توابع هدف f_1 و f_2 نقاط موجود در فضای C ، بیشتر می‌باشند. لذا نقطه ۳ همواره توسط نقاط موجود در فضای C ، مغلوب می‌شود. به عنوان مثال، نقطه ۳ بر نقطه ۶ برتری دارد، اما قضاوت درباره برتری با عدم برتری نقاط موجود در فضای B و D نسبت به نقطه ۳ امکان‌پذیر نیست. زیرا، نقاط موجود در صفحه B ، از لحاظ تابع f_1 ، نسبت به ۳ بهتر و در مورد تابع f_2 ، نسبت به ۳ بدترند. همچنین، نقاط موجود در فضای D ، از لحاظ تابع f_2 ، نسبت به ۳ بهتر و در مورد تابع f_1 ، نسبت به ۳ بدتر هستند. در نتیجه، نمی‌توان برتری هیچ‌کدام از این نقاط را بر دیگری تعیین نمود. در چنین مواردی، از سایر اعضای جمعیت برای قضاوت استفاده می‌شود. در ابتدا فرض می‌کنیم نقطه‌ای در فضای C وجود ندارد. می‌خواهیم نقطه ۳ را با نقطه ۲ که در فضای B قرار دارد مقایسه کنیم. همانطور که اشاره شد، هرکدام یک وضعیت بهتر و یک وضعیت بدتر نسبت به همدیگر دارند. در این شرایط می‌بایست به دنبال نقطه دیگری باشیم که بر هر دو نقطه غلبه کند. نقطه ۱ نقطه ۲ را مغلوب می‌کند، اما نقطه‌ای وجود ندارد که از نقطه ۳ برتر باشد. لذا نقطه ۲ توسط سایر اعضای جمعیت یکبار مغلوب شده ولی نقطه ۳ هرگز مغلوب نمی‌گردد. در نتیجه، نقطه ۳ در بین این دو نقطه وضعیت بهتری برای انتخاب دارد. نقاط ۴ و ۳ نیز وضعیتی مشابه با فوق دارند. یعنی، نقطه ۴ توسط نقطه ۵ مغلوب می‌شود ولی نقطه ۳ توسط هیچ نقطه‌ای مغلوب نمی‌شود. پس نقطه ۳ در برابر نقطه ۴ هم وضعیت بهتری دارد. اما در مورد نقاط ۱ و ۵ نسبت به ۳ نمی‌توان اظهار نظر کرد، زیرا این نقاط توسط هیچ نقطه‌ای مغلوب نشده‌اند و هرکدام نسبت به هم یک برتری و یک عدم برتری دارند. لذا نقاط ۱ و ۵ و ۳ که هرگز مغلوب نشده‌اند، نقاط جبهه اول پارتو را تشکیل می‌دهند.

۳-۳-۳ مفهوم حفظ تنوع پاسخ‌ها (فاصله ازدحامی)^۱

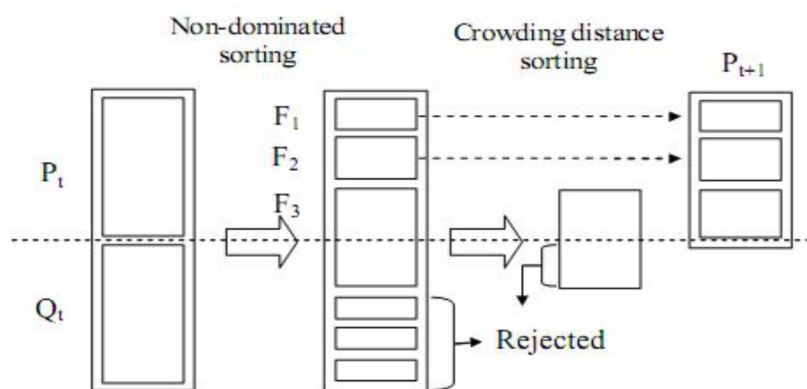
همانطور که در ادامه بیان خواهد شد، گاهی مقایسه اعضای یک مجموعه با رتبه‌های یکسان مورد نیاز است تا بتوان برخی را حذف نمود. این امر، با استفاده از مفهوم حفظ تنوع پاسخ‌ها انجام می‌پذیرد. بدین معنی که، در انتخاب چند عضو از یک مجموعه سعی می‌شود که به نحوی اعضای مورد نظر را به صورت منظم از بازه‌های مختلف انتخاب نمود. برای مثال، فرض کنید نقاط موجود در شکل (۳-۴)، مربوط به مجموعه‌ای با رتبه یکسان باشند و یک نقطه از این نقاط می‌بایست حذف گردد. لذا سعی بر آن است که آن نقطه به گونه‌ای انتخاب شود که پاسخ‌ها تا حدودی متنوع باشند. مثلاً بین نقاط ۳ و ۵، نقطه ۳ انتخاب بهتری برای حذف شدن است. زیرا با حذف نقطه ۵، در محدوده زیادی از محور f_1 و f_2 یعنی به ترتیب، d و g و بین n و p نماینده‌ای از جواب حضور نخواهد داشت. اما با حذف نقطه ۳ جواب‌ها همچنان متنوع خواهند ماند، زیرا در مجاورت این نقطه، پاسخ‌های دیگری نیز یافت می‌شود.



شکل (۳-۴): نقاط فرضی مربوط به یک مجموعه با رتبه برابر [۴۱-۴۲]

دو اپراتور مذکور در فوق در مرحله انتخاب والدین در الگوریتم ژنتیک چند هدفه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مرحله، از بین کروموزوم‌های والدین و فرزندان باید تعدادی را برای آغاز مرحله بعد انتخاب نمود و تعدادی از جواب‌ها را حذف کرد.

¹ Crowding Distance

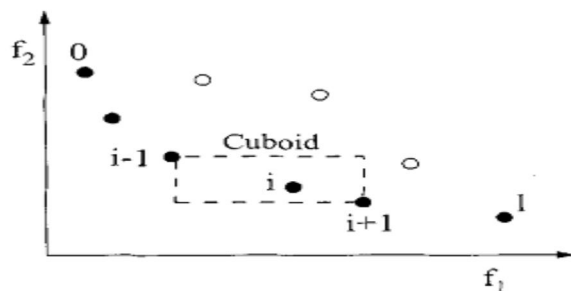


شکل (۵-۳) : عملکرد NSGA II [۴۱-۴۲]

مطابق با شکل (۵-۳)، از شروع سیکل دوم به بعد، دو دسته جواب وجود دارد. دسته اول، جمعیت والدین از مرحله قبل (P_t در شکل)، و دسته دیگر جمعیت فرزندان حاصل از اعمال دو عملگر ادغام و جهش بر روی والدین (Q_t در شکل) می‌باشند. اکنون در ابتدای سیکل بعدی می‌بایست تعدادی از اعضای این دو جمعیت را به منظور ثابت نگه داشتن تعداد اعضای جمعیت اولیه حذف نمود. با توجه به شکل (۳-۳)، ابتدا اعضای مجموعه $P_t \cup Q_t$ رتبه‌بندی می‌شوند. بر اساس مرتب‌سازی نامغلوب، ابتدا آن دسته از اعضای جمعیت که هرگز مغلوب نشده‌اند مشخص گردیده و به آنها رتبه یک اختصاص داده می‌شود ($\text{Rank} = 1$). سپس، برای سایر اعضا با صرف نظر از اعضای با رتبه یک در جمعیت، مجدداً مرتب‌سازی نامغلوب انجام پذیرفته و اعضای که در این مرحله هرگز مغلوب نشده‌اند در رتبه دوم قرار می‌گیرند. به همین منوال، برای بقیه اعضا با نادیده گرفتن اعضای با رتبه یک و دو، بار دیگر مرتب‌سازی نامغلوب انجام گرفته و اعضای که در این مرحله هرگز مغلوب نشده‌اند با رتبه سه مشخص می‌شوند. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که رتبه همه اعضای جمعیت تعیین گردد.

همانطور که در شکل (۵-۳) مشاهده می‌شود، باید به تعداد P_{t+1} از اعضای $P_t \cup Q_t$ بر اساس رتبه-شان انتخاب و بقیه حذف شوند. مطابق شکل، اعضای با رتبه یک و دو همگی انتخاب می‌شوند، اما برای اعضای با رتبه سه باید تعدادی حذف و بقیه انتخاب گردند. واضح است که همگی آنها رتبه برابر دارند و

باید معیار دیگری جهت انتخاب اعمال شود که همان معیار حفظ تنوع پاسخ‌هاست. عملگر این مرحله فاصله/ازدحامی نام دارد. مفهوم این عملگر در بالا شرح داده شد و بیان ریاضی آن برای نقطه i در مسئله-های دو هدفه با توجه به شکل (۳-۶) به صورت زیر می‌باشد:



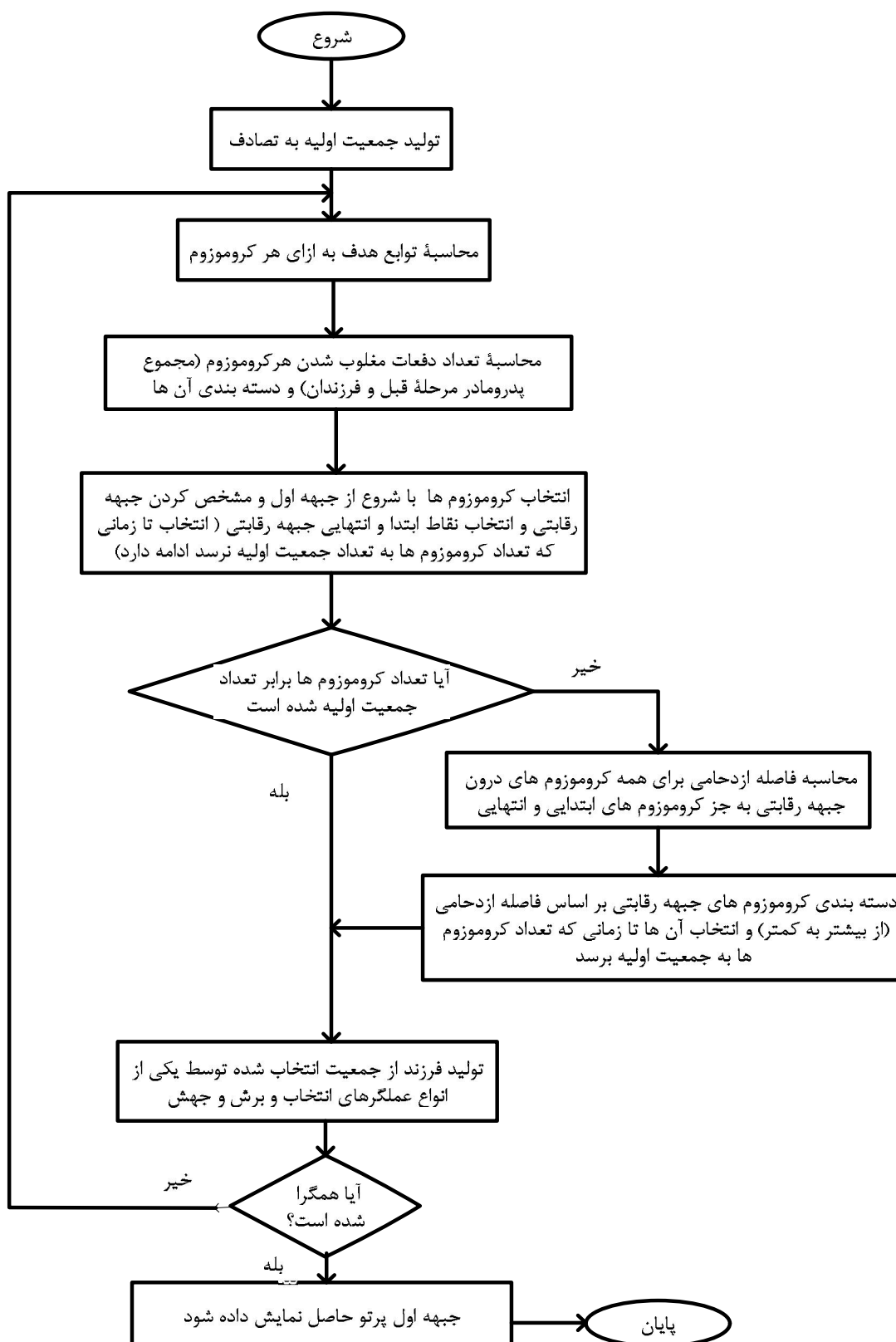
شکل (۳-۶): مفهوم فاصله ازدحامی برای نقطه i [۴۱-۴۲]

$$d_i^1 = \frac{|f_1^{i+1} - f_1^{i-1}|}{f_1^{\max} - f_1^{\min}} \quad (۱۲-۳)$$

$$d_i^2 = \frac{|f_2^{i+1} - f_2^{i-1}|}{f_2^{\max} - f_2^{\min}} \quad (۱۳-۳)$$

$$D = d_i^1 + d_i^2 \quad (۱۴-۳)$$

در فرمول‌های فوق، مقادیر پارامترهای مختلف در شکل مشخص هستند. همچنین، نمادهای d_i^1 و d_i^2 به ترتیب، نماینده نسبت ناحیه شامل نقطه i به کل قلمروی هر یک از توابع هدف f_1 و f_2 می‌باشند. مقدار مجموع این دو نسبت نیز با نماد D مشخص گردیده و شاخصی از قلمرو کلی مربوط به این نقطه می‌باشد، که فاصله ازدحامی نام دارد. بنابراین، هر نقطه‌ای که فاصله ازدحامی بیشتری داشته باشد، محدوده بیشتری را پوشش می‌دهد و حذف آن منجر به از دست رفتن تنوع جواب در محدوده وسیعی از پاسخ‌ها می‌شود. لذا، جهت ثابت ماندن تعداد اعضای جمعیت اولیه، برخی از نقاط با رتبه سوم که فاصله ازدحامی کمتری دارند، حذف می‌گردند. همچنین، نقاط ابتدایی و انتهایی این مجموعه، نقاط مهمی هستند که باید حتماً در بین جواب‌ها وجود داشته باشند و حذف نشوند. فرمول بالا برای هر مسئله با چندین تابع هدف نیز قابل تعمیم است. شکل (۳-۷) فلوچارت روش NSGA II را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۷) : فلوچارت الگوریتم NSGA II

۳-۴ خلاصه فصل

در این فصل سعی شده است تا نیازمندی‌های اصلی مربوط به مسئله تجدید آرایش بررسی شود. پخش بار یکی از ضروریات هر مسئله تجدید آرایش است و از آنجاییکه این پخش بارها باید بصورت کلی نوشته شوند ابتدا یک روش تشخیص توپولوژی شبکه ارائه شد و سپس بر اساس آن یکی از الگوریتم‌های پخش بار در شبکه‌های توزیع تشریح شد. همچنین علاوه بر پخش بار انواع روش‌های بهینه سازی چند هدفه به طور مختصر بررسی شد و در نهایت یک الگوریتم بهینه‌سازی به نام الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ تشریح شده است که پس از اجرای برنامه بجای یک جواب، یک دسته جواب را بصورت جبهه پارتو نشان می‌دهد.

بیان گام به گام مسئله تجدید آرایش و محاسبه قابلیت اطمینان

۴-۱ مقدمه

برای درک بهتر روش پیشنهادی این پایان‌نامه، که در فصل بعدی بیان می‌شود، در این فصل هدف این است که هر مرحله از روش پیشنهادی به صورت تفصیلی، با جزئیات و با بیان مثال توضیح داده شود.

با توجه به پایین بودن سطح ولتاژ و بالا بودن سطح جریان در سیستم‌های توزیع، در این شبکه‌ها تلفات زیاد می‌باشد و این شبکه‌ها بگونه‌ای برنامه‌ریزی و طراحی می‌شوند که علاوه بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های بهره‌برداری هم کاهش یابند. از طرفی تجدید آرایش یکی از ارزان‌ترین روش‌های کاهش تلفات در شبکه می‌باشد بنابراین مطالعه و بررسی مسئله تجدید آرایش یکی از دغدغه‌های برنامه‌ریزان و بهره‌برداران است. همانطور که در فصل دوم گفته شد به باز و بسته کردن کلیدها و ایجاد توپولوژی شعاعی جدید، تجدید آرایش می‌گویند. کدگذاری‌ها تأثیر بسزایی در بهینه فراگیر برای حل مسأله تجدید آرایش دارند و می‌توانند در پراکندگی و محلی‌بودن نقش بسزایی داشته باشند.

در این فصل یکی از جدیدترین و در عین حال ساده‌ترین روش‌های تجدید آرایش یعنی الگوریتم ژنتیک توسعه یافته‌ای که از تکنیک کدگذاری لبه پنجره^۱ [۴۳]، برای حل و تشریح یک مسئله ساده تجدید آرایش تک‌هدفه، برای کاهش تلفات، استفاده می‌شود. با این تکنیک کدگذاری عملگرهای جهش^۲ و برش^۳ به آسانی انجام می‌شود و برای نمایش شبکه و جمعیت اولیه درخت فراگیری ایجاد می‌کند که تضمین می‌کند سیستم شعاعی است.

همچنین یکی از اهداف تجدید آرایش بهبود قابلیت اطمینان است. حوادث مختلفی نظیر پاره شدن خطوط، به‌وجود آمدن انواع خطاها و حوادثی از این قبیل باعث عدم تغذیه مشترکین می‌شود. قابلیت

^۱ Edge Window decoder

^۲ Mutation

^۳ Crossover

اطمینان شاخص‌های مختلفی دارد یکی از این شاخص‌ها که هم به رضایتمندی مشترکین مربوط است و هم به سود شرکت برق مربوط می‌باشد شاخص انرژی تأمین نشده (ENS) است که با نرخ خروج خطوط و توان باس‌ها قابل محاسبه است. مدل شبکه، نوع ادوات حفاظتی و طرح‌های مانوری و حتی نوع عملکرد DGها به هنگام بروز خطا به صورت مستقیم بر محاسبه قابلیت اطمینان و ENS مؤثر است. در این بخش علاوه بر تشریح مسئله تجدید آرایش، روشی برای محاسبه قابلیت اطمینان در حضور DG ارائه شده است.

۴-۲ تجدید آرایش به روش کدگذاری لبه پنجره

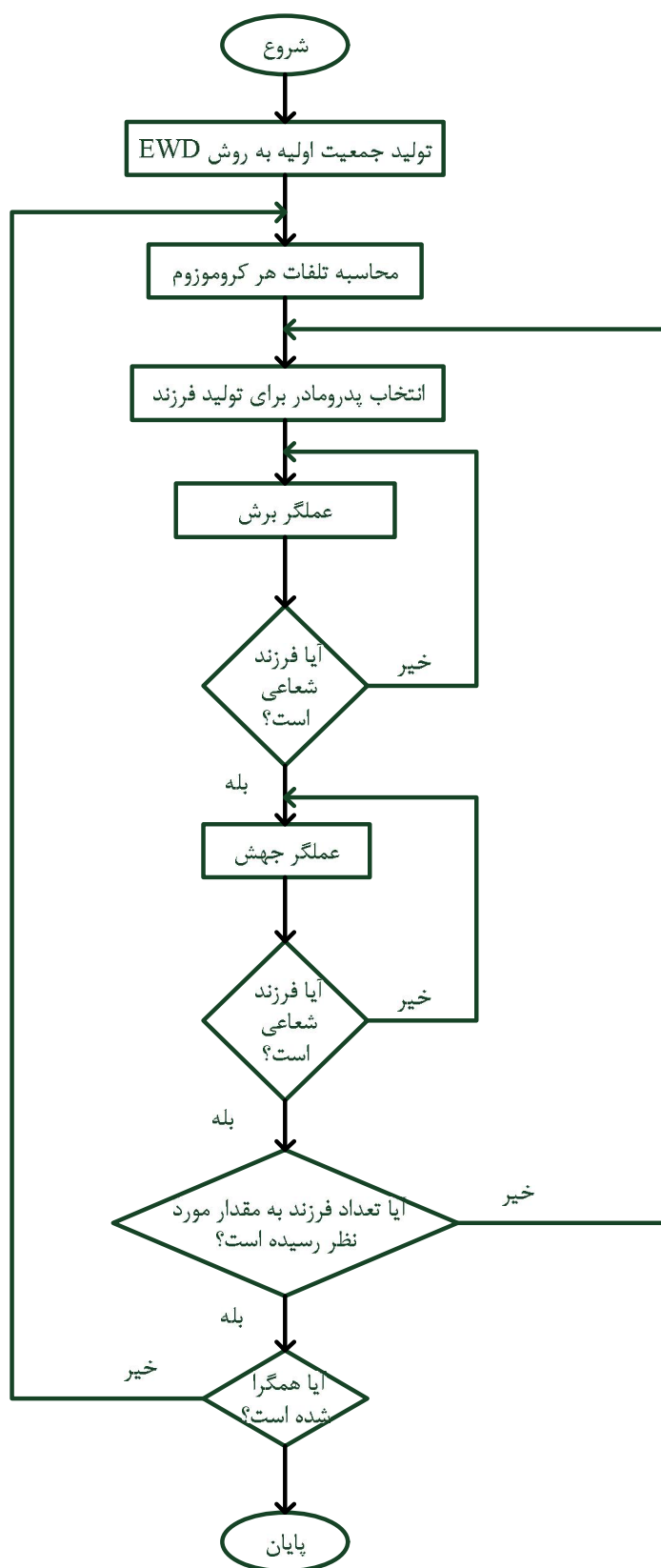
۴-۲-۱ اهمیت روش کدگذاری لبه پنجره

با توجه به اینکه یکی از روش‌های نوین در تجدید آرایش استفاده از روش کدگذاری لبه پنجره است، در این بخش تلاش می‌شود که روش کدگذاری لبه پنجره را برای مسئله تجدید آرایشی که دارای یک تابع هدف (تلفات) و دو قید می‌باشد تشریح کنیم. هدف اصلی این بخش ارائه یک روش خودآموز برای تکنیک فوق است و بدیهی است که تابع هدف اصلی بکار رفته در امر تجدید آرایش که در فصل بعدی بیان می‌شود، با این تابع هدف متفاوت است.

یکی از مهمترین مشکلات برای حل مسئله تجدید آرایشی که از الگوریتم‌های تکاملی استفاده می‌کنند، رعایت قید شعاعی بودن است. این قید نه تنها مشکلاتی را در آرایش جمعیت اولیه ایجاد می‌کند بلکه در مراحل میانی فرآیند تکاملی هم مشکلاتی ایجاد می‌کند. همچنین انتخاب مناسب استراتژی کدگذاری و عملگرهای ژنتیک هم از فاکتورهای کلیدی برای حل کارآمد مسئله تجدید آرایش است. به

این خاطر استراتژی‌های کدگذاری و عملگرهای ژنتیک جدیدی برای الگوریتم‌های تکاملی توسط محققین پیشنهاد شده است. در کل این تکنیک‌ها تلاش می‌کنند تا راهی را پیدا کنند که در کدگذاری، بین ویژگی‌های محلی بودن، وراثتی و پراکندگی به تعادل برسند. عملگرهای جهش معمولاً مسئولند تا تغییرات کوچکی را در کروموزوم‌ها ایجاد کنند تا اثر خاصیت محلی بودن را کم کنند. ویژگی وراثتی به این معنی است که چگونه بسیاری از ساختارهای درون پدر و مادر به فرزندان انتقال داده می‌شود. این ویژگی توسط عملگر برش تعیین می‌شود و این برای ما مطلوب است که فاکتورهای کلیدی بتوانند از یک نسل به نسل دیگر منتشر شوند. به طور کل یک جمعیت با پراکندگی بالا به منظور دوری از همگرایی بی-موقع و بهینه محلی مهم است. در مجموع همه این ویژگی‌ها شدیداً به استراتژی کدگذاری و عملگرهای ژنتیک وابسته می‌شود.

در این پایان‌نامه الگوریتم ژنتیکی بر اساس استراتژی کدگذاری لبه پنجره به منظور حل مسئله تجدید آرایش توسعه داده شده است. ساختار کلی این الگوریتم در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. همگرایی می‌تواند توسط تعداد نسل‌ها یا همان تکرار تعیین شود، P_c نرخ برش است و P_m نرخ جهش است و هرگاه مقدار عدد تصادفی از آن‌ها کمتر بود عمل برش یا جهش انجام می‌شوند. انتخاب از نوع رقابتی و به این صورت است که به طور اتفاقی دو کروموزوم را از جمعیت فعلی انتخاب می‌کنیم و کروموزومی که بهترین برازندگی را دارد، برای عملیات برش انتخاب می‌کنیم. این رویه تکرار می‌شود تا $Q(t)$ (جمعیت فرزندان) کامل شود.



شکل (۴-۱): فلوچارت تجدید آرایش EWD

۴-۲-۲ فرمول بندی مسئله

در این فصل مسئله تجدید آرایش برای مینیم کردن تلفات توان حقیقی حل می شود همزمان با اینکه چندین قیود بهره برداری سیستم مانند شعاعی بودن، محدودیت جریان مربوط به خطوط و محدودیت اندازه ولتاژ گره ها را هم ارضاء کند.

سیستم توزیع سه فاز متعادل در نظر گرفته می شود و فرض می شود همه بارها از نوع توان ثابت

هستند.

تابع هدف مسئله و قیود به صورت زیر است:

$$\text{Min } P_{\text{losses}} = \sum 3R_i I_i^2 \quad (1-4)$$

Subject to :

$$I_i \leq I_{i \text{ max}} \quad (2-4)$$

$$V_{i \text{ min}} \leq V_i \leq V_{i \text{ max}} \quad (3-4)$$

معادله (۱-۴) تابع هدفی است که باید بهینه شود و نشان دهنده مجموع تلفات توان همه خطوط در

سیستم توزیع است. I_i و R_i به ترتیب جریان و مقاومت الکتریکی خط i ام است. $I_{i \text{ max}}$ به ترتیب

جریان خط و جریان ماکزیمم خط i ام است. V_i اندازه ولتاژ باس i ام است و $V_{i \text{ min}}$ و $V_{i \text{ max}}$ به ترتیب

حداقل و حداکثر ولتاژ مورد قبول باس i ام است. قید آخری که به شکل فرمول های ریاضی نمی توان آن را

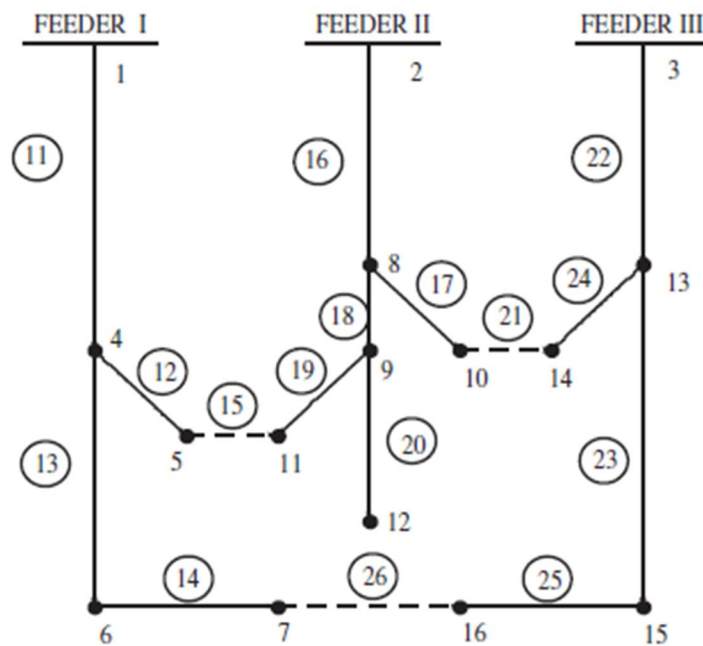
نشان داد، ساختار شعاعی شبکه است که باید حفظ شود و همه گره ها تغذیه شوند.

۴-۲-۳ استراتژی کدگذاری در الگوریتم تجدید آرایش لبه پنجره

استراتژی کدگذاری لبه پنجره برای درخت فراگیر استفاده می شود تا هر جواب مساله تجدید آرایش

را کدگذاری کند. به منظور توصیف استراتژی کدگذاری در شکل (۲-۴)، شبکه توزیع توانی نشان داده

شده است که دارای ۳ فیدر، ۱۳ خط که در حالت عادی بسته اند و ۳ خط که در حالت عادی سوئیچ‌های آن باز است و ۱۳ گره تقاضای بار است. گره های ۱ و ۲ و ۳ به عنوان گره های واحد در نظر گرفته می-شوند.



شکل (۴-۲): سیستم توزیع توان [۴۳]

اکنون از گره ۱ شروع می کنیم و بدون اینکه دست خود را از روی پیکربندی سیستم برداریم، با رسیدن به هر گره یک رشته‌ای از گره های ملاقات شده بدست می‌آید (۱، ۴، ۵، ۴، ۶، ۷، ۱۶، ۱۵، ۱۳، ۱۴، ۳، ۲، ۸، ۱۰، ۸، ۹، ۱۲، ۹، ۱۱). در این مرحله فرض می‌کنیم همه سوئیچ ها بسته‌اند، چون هدف اصلی ملاقات کردن همه گره‌ها است. اکنون پنجره ای که شامل ۲ خانه است و در امتداد این رشته گره‌ها حرکت می‌کند را تصور کنید. پنجره روان ابتدا "۱ و ۴" را می‌بیند. بنابراین این لبه به مجموعه لبه $ES\{(4,1)\}$ اضافه می‌شود. سپس پنجره روان "۴ و ۵" و "۵ و ۴" را می‌بیند. تنها لبه هایی از پنجره ها در نظر گرفته می شود که گره قرار گرفته در خانه دوم پنجره تاکنون در مجموعه ES قرار نگرفته باشد. در غیر اینصورت از این پنجره صرف نظر می‌شود. برای مثال وقتی پنجره، "۵ و ۴" را می‌بیند، این پنجره

را در مجموعه ES قرار نمی‌دهد. زیرا گره ۴ در گام قبلی در پنجره "۴ و ۵" در نظر گرفته شده بود. همچنین اگر گره‌های ۲ و ۳ در خانه دوم پنجره قرار بگیرند، از آن پنجره هم صرف نظر می‌شود زیرا آنها معادل با گره ۱ هستند (یعنی گره واحدند)، اما اگر در خانه اول پنجره قرار بگیرند مانعی ندارد. برای مثال پنجره "۳ و ۲" یا "۱۳ و ۳" در ES قرار نمی‌گیرند و پنجره به گام بعدی می‌رود. این فرایند ادامه پیدا می‌کند تا اینکه به انتهای رشته برسد. سرانجام مجموعه لبه انتخاب شده به صورت زیر می‌شود:

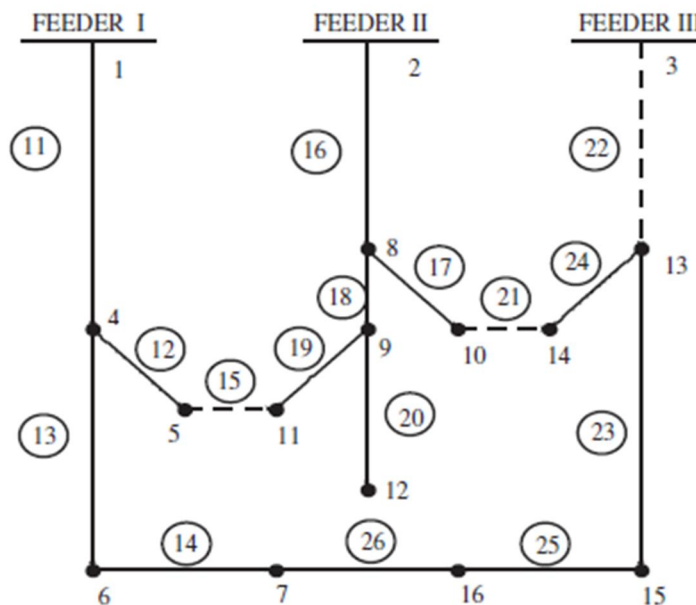
$$ES = \{(4,1), (5,4), (6,4), (7,6), (16,17), (15,16), (14,13), (8,2), (10,8), (9,8), (12,9), (11,9)\}$$

این لبه‌ها یک آرایش جدیدی برای سیستم توزیع نشان می‌دهد. شکل (۳-۴) نتیجه درخت فراگیر را که آرایش متفاوتی با شبکه نشان داده شده در شکل (۲-۴) دارد را نشان می‌دهد. همچنین $ES\{\}$ می‌تواند با شماره خطوط هم نشان داده شود.

$$LS = \{19, 20, 18, 17, 16, 24, 23, 25, 26, 14, 13, 12, 11\}$$

یا اینکه LS را به شکل زیر مرتب کرد:

$$LS_m = \{26, 25, 24, 23, 20, 19, 18, 17, 16, 14, 13, 12, 11\}$$



شکل (۳-۴): آرایش جدید سیستم توزیع توان [۴۳]

همچنین برای اینکه از محاسبات اضافی خودداری کنیم، خط شماره ۲۰ بین گره های ۹ و ۱۲ را می توانیم در نظر نگیریم. بخاطر اینکه تحت هر شرایطی باز کردن این خط باعث جزیره ای شدن این شبکه می شود و گره ۱۲ هیچوقت تغذیه نمی شود. این کار باعث می شود که فضای جستجوی ما کمتر شود و الگوریتم بهینه سازی وظیفه آسان تری داشته باشد. لازم به ذکر است که این شاخه در شبکه وجود دارد و در پخش بار باید آن را مدنظر قرار داد، اما در محاسبه درخت فراگیر می توان از آن صرف نظر کرد.

۴-۲-۴ جمعیت اولیه

الگوریتم تجدید ارایش کدگذاری لبه پنجره، شعاعی بودن جمعیت اولیه را تضمین می کند و باعث آسان شدن فرایند تکاملی است.

روند تشکیل جمعیت اولیه به اینصورت است که ابتدا با فرض وصل بودن همه ی شاخه ها از اولین گره فیدر شروع کرده و مسیرهای متفاوتی را به صورت تصادفی طی می کنیم به شکلی که همه ی گره ها را در بر بگیرد. با این کار رشته های مربوط به درخت های فراگیر ساخته می شود. سپس با استفاده از لبه پنجره درختهای فراگیر از آن رشته ها استخراج می شود.

از آنجا که درختهای فراگیر به شکل تصادفی انتخاب می شود امکان تشابه بعضی از درخت ها در جمعیت اولیه وجود دارد و این کار باعث می شود قابلیت اطمینان^۱ الگوریتم بهینه سازی کاهش یابد. برای جلوگیری از این کار باید چک شود اگر درخت فراگیر تکراری بود آن را وارد جمعیت اولیه نکند.

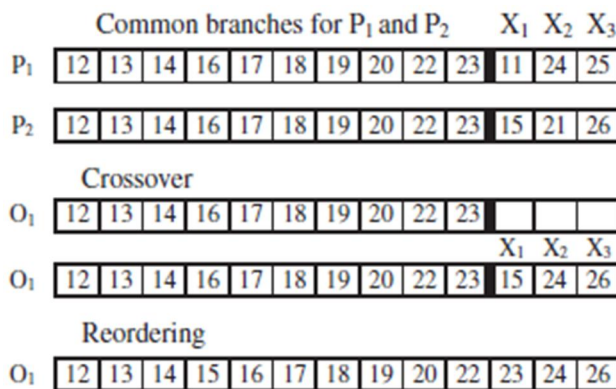
۴-۲-۵ عملگر برش

عملگر برش در این مسئله دو گام دارد. در اولین گام خطوطی که در پدر و مادر مشترک هستند را انتخاب می کنیم و آن ها را در فرزند قرار می دهیم. در گام دوم برای مقداردهی هر کدام از ژن های

^۱ Reliability

باقیمانده فرزند، یک خط از خطوط غیر مشترک پدر یا مادر، که مکان ژن آن متناظر با ژنی از فرزند است که می‌خواهیم آن را مقداردهی کنیم، انتخاب می‌شود و در ژن مربوطه فرزند قرار می‌دهیم. این فرایند را تا کامل شدن ژن‌های مربوط به کروموزوم فرزند ادامه می‌دهیم. این کار ممکن است باعث حلقوی شدن پیکربندی شبکه بشود پس باید الگوریتمی بنویسیم که شعاعی بودن شبکه را بررسی کند. تا زمانی که شبکه شعاعی نشده است عملگر برش تکرار می‌شود.

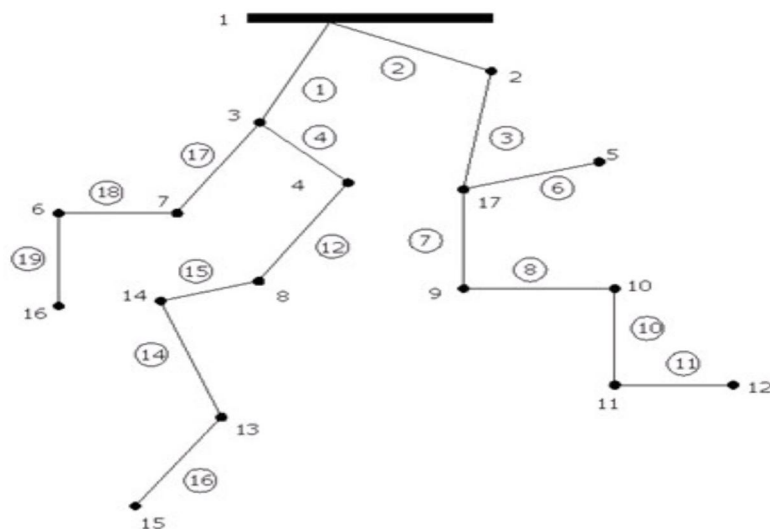
به منظور درک فرایند عملگر برش، شکل (۴-۴) نحوه انجام فرایند را توضیح می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنید هر دو پدر و مادر، یک فرزند را تولید می‌کنند. بنابراین تعداد کل فرایندهای برش در یک نسل، به طور متوسط برابر است با نصف جمعیت اولیه در نرخ برش. مثلاً اگر تعداد جمعیت اولیه ۱۰۰ باشد و P_c برابر 0.3 باشد تعداد فرزندان که از فرایند برش ایجاد می‌شود برابر $15 = \frac{100 \times 0.3}{2}$ می‌شود. این نوع عملگر برش تنها فرزندان منطقی (پیکره بندی شعاعی) را تولید می‌کند.



شکل (۴-۴): آرایش شبکه توزیع بعد از عملیات برش [۴۳]

۴-۲-۶ تست شعاعی بودن شبکه

برای اینکه تشخیص دهیم آرایش شبکه شعاعی است یا نه باید روش خاصی را استفاده کنیم. در زیر یک روش ساده برای تشخیص شعاعی بودن شبکه آورده شده است. شبکه شکل زیر را در نظر بگیرید:



شکل (۴-۵): شبکه توزیع انتخابی جهت تست شعاعی بودن [۱۵]

برای شعاعی بودن طبق مراحل زیر عمل می‌کنیم :

۱. ابتدا جدول اتصالات شاخه و گره شبکه را به صورت زیر می‌نویسیم.

جدول (۴-۱) : جدول اتصالات شاخه و گره

شماره شاخه	۱	۲	۳	۴	۶	۷	۸	۱۰	۱۱	۱۲	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
گره آغاز	۱	۱	۲	۳	۱۷	۱۷	۹	۱۰	۱۱	۴	۱۴	۱۴	۱۳	۳	۷	۶
گره پایان	۳	۲	۱۷	۴	۵	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۸	۱۳	۸	۱۵	۷	۶	۱۶

۲. مجموعه S که شامل همه گره‌های جدول بالا است را تشکیل می‌دهیم. مجموعه S یعنی مجموع

گره‌های آغازی و پایانی، و به صورت زیر است. در صورتیکه شماره همه گره‌ها در مجموعه S

موجود باشد و تعداد شاخه‌ها برابر تعداد گره‌ها منهای یک باشد و شاخه‌ها هم غیر تکراری باشند،

نشان‌دهنده این موضوع است که تمام گره‌های شبکه برقرار می‌باشد.

$$S=\{۱۶,۶,۷,۱۵,۸,۱۳,۸,۱۲,۱۱,۱۰,۹,۵,۴,۱۷,۲,۳,۶,۷,۳,۱۳,۱۴,۱۴,۴,۱۱,۱۰,۹,۱۷,۱۷,۳,۲,۱,۱\}$$

در مورد شبکه بالا مشاهده می شود که تمام شرایط بالا برقرار است و گره های ۱ تا ۱۷ در S موجود می باشد. بنابراین در آرایش مفروض هیچ گره ای از شبکه بی برق نیست. در صورت عدم رعایت این موضوع شبکه دیگر شعاعی نمی باشد که دیگر مراحل بعدی انجام نمی شود.

۳. جهت تشخیص وجود یا عدم وجود حلقه در شبکه انتخابی در مجموعه S به دنبال گره هایی می -

گردیم که فقط یکبار تکرار شده اند و ستون مربوط به آن گره ها را از جدول بالا حذف می کنیم. با

توجه به جدول جدید مجموعه S را تشکیل می دهیم و این عمل را آنقدر ادامه می دهیم تا تمامی

شاخه ها حذف شوند. چنانچه همه شاخه ها از جدول حذف شوند شبکه دارای حلقه نبوده و شبکه

شعاعی می باشد. در غیر این صورت شبکه شعاعی نمی باشد.

در قسمت قبل گره های ۵، ۱۵، ۱۲، ۱۶ یکبار تکرار شده اند بنابراین شاخه های ۱۹، ۱۶، ۶ و ۱۱ باید

حذف شوند.

جدول (۴-۲): جدول اتصالات شاخه و گره تغییر یافته

شماره شاخه	۱	۲	۳	۴		۷	۸	۱۰		۱۲	۱۴	۱۵		۱۷	۱۸	
گره آغاز	۱	۱	۲	۳		۱۷	۹	۱۰		۴	۱۴	۱۴		۳	۷	
گره پایان	۳	۲	۱۷	۴		۹	۱۰	۱۱		۸	۱۳	۸		۷	۶	

$$S=\{۶,۷,۸,۱۳,۸,۱۱,۱۰,۹,۴,۱۷,۲,۳,۷,۳,۱۴,۱۴,۴,۱۰,۹,۱۷,۳,۲,۱,۱\}$$

جدول (۴-۳): تغییر مجدد جدول اتصالات شاخه و گره

شماره شاخه	۱	۲	۳	۴		۷	۸			۱۲		۱۵		۱۷		
گره آغاز	۱	۱	۲	۳		۱۷	۹			۴		۱۴		۳		
گره پایان	۳	۲	۱۷	۴		۹	۱۰			۸		۸		۷		

$$S=\{7,8,8,10,9,4,17,2,3,3,14,4,9,17,3,2,1,1\}$$

اگر این روند را ادامه دهیم، در نهایت تمام ستون‌های جدول پاک خواهد شد که انتظاری غیر از این نداشتیم چون شبکه مورد بررسی شعاعی بود.

۷-۲-۴ عملگر جهش

در این مسئله جهش به این صورت انجام می‌شود که یک خط از خطوطی که در فرزند وجود ندارد به طور تصادفی انتخاب می‌شود تا در کروموزوم قرار بگیرد، در این مرحله شبکه دچار حلقه می‌شود. در مرحله بعد یک خط از خطوط درون کروموزوم به تصادف انتخاب می‌شود و خطی که در مرحله قبل انتخاب شد به جای آن قرار می‌گیرد. باید توجه داشت که خطی باید از کروموزوم حذف شود که حلقه به وجود آمده را از بین ببرد چون خاصیت شعاعی بودن شبکه باید حفظ شود و این کار را می‌توان با تست شعاعی بودن سیستم که در بخش قبلی توضیح داده شد بررسی کرد. برای مثال خط ۲۱ وصل می‌شود و این کار یک حلقه در سیستم ایجاد می‌کند. سپس به صورت تصادفی یک خط در حلقه ایجاد شده انتخاب و از شبکه خارج می‌شود. در این مورد خط ۱۷ قطع شده است. شبکه توزیع جدید بدست آمده در شکل (۴-۶) نشان داده شده است. تعداد کل فرایندهای جهش در هر نسل به طور متوسط برابر است با تعداد فرزندان ضربدر نرخ جهش.

Original System														
O ₁	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	23	24	26	
New line section connected														
O ₁	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	23	24	26	21
Loop elimination and reordering														
O ₁	12	13	14	15	16	18	19	20	21	22	23	24	26	

شکل (۴-۶): آرایش شبکه بعد از عملیات جهش [۴۳]

۴-۲-۸ تابع برازندگی

تابع برازندگی، به منظور ارزیابی اعضای هر نسل توسط GA، مورد نیاز است. تابع برازندگی می-

تواند به صورت‌های مختلفی نوشته شود که یکی از آن‌ها در زیر آورده شده است:

$$f_{\text{FITNESS}} = \frac{\text{Plosses}}{M} + w_1 I(k) + w_2 V(k) \quad (۴-۴)$$

$$V(k) = \frac{\text{Number of node voltages above / below limit in solution } k}{\text{Number of nodes}}$$

$$I(k) = \frac{\text{Number of lines above capacity limit in solution } k}{\text{Number of lines in the solution } k} \quad (۵-۴)$$

تابع برازندگی برای هر کروموزوم در هر نسل، بعد از اجرای بخش بار توزیع محاسبه می‌شود.

اولین بخش در معادله (۴-۴) تابع هدف را بوسیله M نرمالیزه می‌کند. اندازه M می‌تواند از بیشترین

تلفات توان در هر نسل بدست آید. محدودیت‌های ارائه شده در معادلات (۲-۴) و (۳-۴) مانند I و V

توسط فاکتورهای وزنی w_1 و w_2 شرکت داده می‌شوند. بنابراین هر کروموزوم به منظور تعیین معیار

حداقل تلفات و محدودیت‌های سیستم، از سطح ولتاژ گرفته تا جریان خطوط ارزیابی می‌شود. اندازه

فاکتورهای وزنی w_1 و w_2 بر اساس مسئله مورد مطالعه انتخاب می‌شوند. معیار همگرایی الگوریتم

نیز می‌تواند از روش‌های مختلفی محقق شود یکی از آن‌ها تعداد تکرار است که وقتی الگوریتم مثلاً

۱۰۰ بار تکرار شد الگوریتم متوقف شود یا بوسیله مقایسه بین میانگین تابع برازندگی جمعیت و

بهترین تابع برازندگی در هر نسل مشخص شود که اگر این اختلاف کمتر از ۰/۰۰۱ باشد الگوریتم

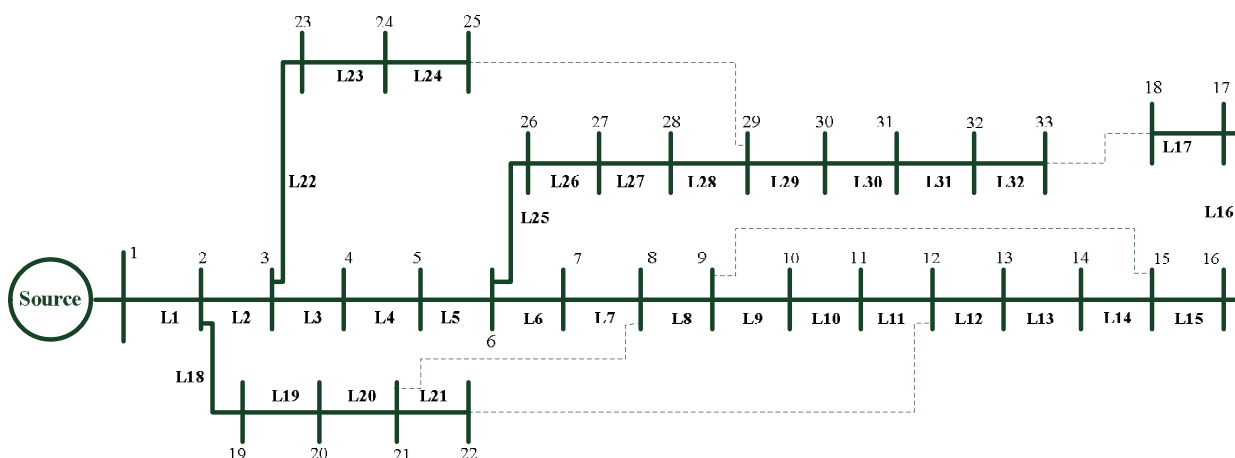
متوقف می‌شود.

هدف اصلی در این بخش فقط آشنایی اجمالی با نحوه تجدید آرایش است به همین دلیل نتایج

مربوط به این بخش به طور کامل آورده نشده است. با اجرای این الگوریتم بر روی سیستم ۳۳ باسه

که در شکل (۷-۴) آورده شده است، بهترین آرایش با کمترین تلفات به ازای باز بودن خطوط

۷ و ۹ و ۱۴ و ۳۲ و ۳۷ بدست می‌آید که در این حالت تلفات برابر ۱۳۹.۵ کیلووات است اما در این آرایش هفت قید برآورده نشده است. در واقع آرایش‌هایی در شبکه می‌توان یافت که تعداد قیود برآورده نشده در آن کمتر است که در فصل پنجم در مورد آن بیشتر توضیح داده شده است. اطلاعات مربوط به سیستم توزیع شکل (۴-۷) در بخش ضمیمه آورده شده است.



شکل (۴-۷): شبکه توزیع ۳۳ باسه

۴-۳ محاسبه قابلیت اطمینان در مسئله تجدید آرایش

با توجه به اهداف پایان‌نامه در این قسمت شاخص‌های قابلیت اطمینان در موضوع تجدید آرایش مورد بحث قرار می‌گیرد. در مقالات و کتب علمی از دو روش شبیه‌سازی Monte Carlo و روش تحلیلی، برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع استفاده شده است، اما روش تحلیلی به دلیل سادگی روش و به دلیل اینکه زمان کمتری نیاز دارد، برای محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان بیشتر مورد توجه

قرار گرفته است. بر این اساس در این پایان‌نامه نیز از روش تحلیلی برای محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان استفاده می‌شود.

سیستم توزیع شعاعی از گروهی تجهیزات سری شامل خطوط، کابل‌ها، ادوات حفاظتی، باسبارها و غیره تشکیل شده است. یک مصرف کننده متصل به هر باس برای استفاده از انرژی الکتریکی در چنین سیستمی، به تمام تجهیزات بین خودش و منبع تغذیه نیاز دارد. در نتیجه اساس سیستم‌های سری می‌تواند به این سیستم‌ها اعمال شود [۱۴].

شاخص‌های اساسی قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع شامل موارد زیر می‌شود: متوسط نرخ خرابی λ_s که واحد آن (fault/year)، متوسط زمان خاموشی r_s که واحد آن (hour/fault) و متوسط زمان خاموشی سالیانه U_s با واحد (hour/year) است. هر چند این شاخص‌ها مهم هستند اما آن‌ها بطور کامل رفتار سیستم را ارزیابی نمی‌کنند. در نتیجه شاخص‌های تکمیلی دیگری برای ارزیابی دقیق‌تر شبکه‌های توزیع معرفی شده‌اند که به دودسته کلی مبتنی بر مشترک و مبتنی بر بار و انرژی تقسیم می‌شوند.

$$U_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i = \lambda_s r_s \quad \Rightarrow \quad (\text{hour/year}) = (\text{fault/year}) \times (\text{hour/fault}) \quad (۴-۶)$$

شاخص‌های مبتنی بر مشترک شامل SAIFI، SAIDI، CAIFI، CAIDI، ASAI و ASUI است و شاخص‌های مربوط به بار و انرژی ENS، AENS و ACCI را شامل می‌شود که در فصل سوم به طور اجمالی در مورد آن‌ها توضیح داده شد. از بین شاخص‌های بیان شده در بالا ENS از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا هم به سود شبکه و هم به رضایتمندی مشترکین مربوط می‌شود. به همین دلیل در این پایان‌نامه از این شاخص برای تحلیل و محاسبه قابلیت اطمینان استفاده می‌شود.

محاسبه قابلیت اطمینان به شدت به نوع و نحوه عملکرد تجهیزات حفاظتی بستگی دارد. اما برای محاسبه قابلیت اطمینان می‌توان این تجهیزات را به دو دسته کلی تقسیم کرد:

۱. تجهیزاتی که قابلیت قطع جریان خطا را دارند مانند: فیوزها، کلیدها و سکسیونر-فیوز (همان سکسیونری که با فیوز سری شده است).

۲. تجهیزاتی که قابلیت قطع جریان خطا را ندارند مانند: سکسیونرها، سکشنالایزرها^۱ (سکسیونری که از ریکلوزر فرمان می‌گیرد)، جمپرها.

۴-۳-۱ مفروضات محاسبه قابلیت اطمینان

در این قسمت فرض‌های اختیار شده در محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان در موضوع تجدید آرایش بیان می‌شود. این فرض‌ها به صورت زیر می‌باشند:

۱. خرابی‌ها^۲ تنها به خطوط مربوط می‌شود و برای مدل‌سازی آن از مدل دو حالت وضعیت عادی یا وضعیت تعمیر (قطع یا وصل) استفاده می‌شود و همچنین فرض می‌شود که تمام خرابی‌ها مستقلند.

۲. به هنگام انجام مانور محدودیت جریانی برای خطوط وجود ندارد و فرض می‌شود که خطوط قابلیت تحمل بار را دارند.

۳. تجهیزات حفاظتی عملکرد درستی دارند و خطا در سیستم با ساختار شعاعی توسط نزدیک‌ترین دستگاه حفاظتی اضافه جریان در سمت منبع قطع شود و قابلیت ایزوله کردن خطا برای تجهیزات حفاظتی وجود داشته باشد.

^۱ Sectionalizer

^۲ Failure

۴. وقتی خطایی در بخشی از شبکه رخ می‌دهد و در پایین دست خطا DG وجود دارد، طبق استاندارد IEEE 1547، DG از شبکه قطع می‌شود. اما فرض می‌شود که DG، که قابلیت کنترل توان اکتیو و راکتیو را دارد، بار الکتریکی متصل به باس خود را همچنان تغذیه می‌کند، اگرچه از شبکه و فیدر قطع شده است و قادر به تغذیه باس‌های دیگر نیست. در این حالت به دلیل اینکه DG بار را بصورت محلی تغذیه می‌کند تلفات ناچیز است و می‌توان از تلفات مربوط به تغذیه بار محلی صرفه‌نظر کرد. همچنین فرض می‌شود که بارهای مشترکین باس‌هایی که به آن‌ها DG وصل است، کنترل‌پذیرند و قابلیت قطع و وصل شدن دارند در این حالت چنانچه توان DG، بیشتر از توان بار مصرفی باشد، تمام بار مصرفی توسط DG تغذیه می‌شود. اما اگر توان DG از توان بار مصرفی باسبار کمتر باشد بارزدایی انجام می‌شود و با بارزدایی ضمن تغذیه بخشی از توان باسبار، کیفیت توان را هم می‌توان در حد استاندارد نگه داشت.

۴-۳-۲ گروه‌بندی گره‌های شبکه به هنگام وقوع خطا

اکثر خطاهایی که در شبکه توزیع رخ می‌دهد از نوع خطاهای گذرا هستند که در این صورت ریکلوزر عمل کرده و سیستم به حالت عادی باز می‌گردد. اما اگر خطا گذرا نباشد بخشی که دارای خرابی است ایزوله می‌شود و گره‌های موجود در این بخش تا زمانی که تعمیرات تمام نشود بی‌برق خواهند ماند و بخش‌های دیگر شبکه هم بعد از عملیات مانور بازبایی می‌شوند. بطور کلی هنگامی که خطایی در شبکه توزیع رخ می‌دهد چند حالت برای گره‌های شبکه رخ می‌دهد:

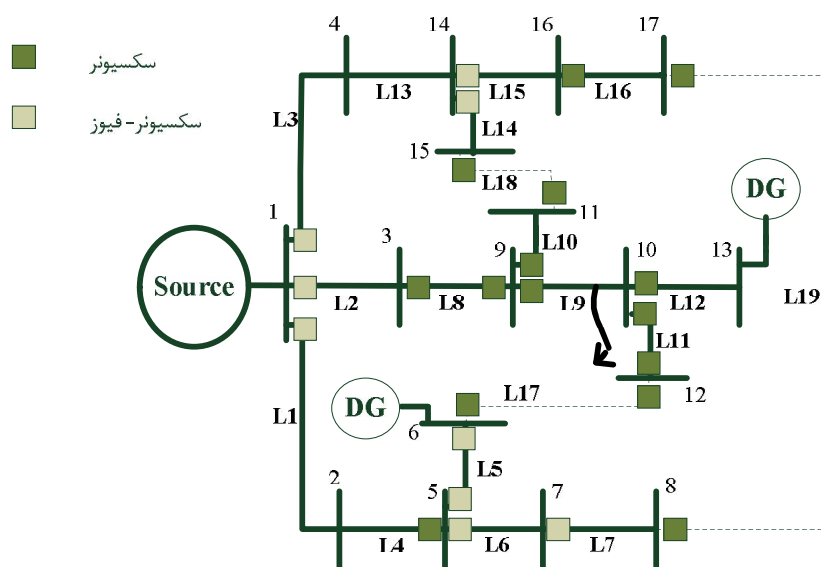
گروه ۱: گره‌هایی که خطا بر روی آن‌ها هیچ تأثیری نداشته و پس از وقوع خطا همچنان در حال تغذیه هستند.

گروه ۲: گره‌هایی که خطا باعث بی‌برقی آن‌ها شده است اما بعد از کلیدزنی توسط شاخه خودش برقرار می‌شوند.

گروه ۳: گره‌هایی که خطا باعث بی‌برقی آن‌ها شده است اما با عملیات مانور و بستن یک یا چند کلید ارتباطی برقرار می‌شوند.

گروه ۴: گره‌هایی که خطا باعث بی‌برقی آن‌ها شده است و تا زمان تعمیر هم باید بی‌برق بمانند.

با توجه شکل (۴-۸) حالت‌های مختلفی که برای گره‌های شبکه به علت وقوع خطا رخ می‌دهد تشریح می‌شود. فرض کنید در خط L_9 خطایی رخ می‌دهد. این خطا سبب می‌شود تا نزدیکترین تجهیز حفاظتی اضافه جریان از طرف منبع یعنی فیوزی که در خط L_2 وصل است عمل کند و باعث قطعی کل بارهای پایین دست شاخه ۲ بشود. در این حالت DG از شبکه قطع می‌شود اما باری که به گره ۱۳ وصل است را تا جایی که توان DG اجازه دهد همچنان تغذیه می‌کند بنابراین تمام گره‌ها به جزء گره‌های ۱۱، ۱۰، ۹، ۳ و ۱۲ جزء گروه اول از دسته‌بندی بالا هستند که خطا بر آن‌ها هیچ تأثیری ندارد. بعد از مدتی سکسیونر خط L_9 و سکسیونرهایی که در ابتدای خط L_{11} و L_{12} قرار دارد باز می‌شود و سپس فیوز خط L_2 بعد از تعمیر دوباره وصل می‌شود و باعث می‌شود بعضی از گره‌ها مانند گره‌های ۹، ۳ و ۱۱ بازیابی بشوند. این گره‌ها جزء گروه دوم هستند. همچنین گره ۱۲ نیز بعد از مدتی با عملیات مانور یعنی وصل کردن خط L_{17} از طریق شاخه دیگر شبکه تغذیه می‌شود. این گره جزء گروه سوم است. گره ۱۰ هم تا زمان تعمیر باید بی‌برق بماند که جزء گروه چهارم است.



شکل (۴-۸): شبکه توزیع خطادار

۳-۳-۴ محاسبهٔ ENS

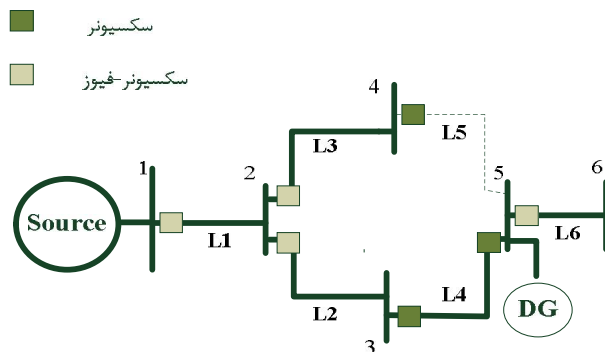
از آنجاییکه محاسبهٔ ENS برای مسئله تجدید آرایش بکار می‌رود بنابراین الگوریتم باید عمومیت داشته باشد و قادر باشد ENS را برای همهٔ آرایش‌ها محاسبه کند. برای اینکار نیاز است که ابتدا گره‌ها و شاخه‌های درخت فراگیر هر آرایش را پیدا کنیم. الگوریتم تشخیص توپولوژی بطور کامل در فصل سوم آورده شده است. در این فصل نحوهٔ محاسبهٔ ENS با توجه به شبکه توزیع نمونه شکل (۴-۹) توضیح داده خواهد شد. اطلاعات مربوط به شبکه در جدول (۴-۱) آورده شده است. همچنین یک DG که قابلیت کنترل توان اکتیو و راکتیو را دارد در باس ۵ وجود دارد که قابلیت تولید توان ۵۰۰ کیلو ولت آمپر را دارد. زمان تعمیر و زمان مانور و کلیدزنی نیز برای خطایی که رخ می‌دهد به ترتیب ۱ ساعت و ۰/۵ ساعت فرض

شده است. فرمول‌های مورد استفاده در محاسبهٔ ENS در زیر آورده شده است. این فرمول‌ها هم در حضور DG و هم بدون DG در شبکه، برای محاسبهٔ ENS به کار می‌روند.

$$ENS = \sum_{i=1}^N P_i \cdot U_i \quad (۷-۴)$$

$$U_i = \sum_{j=1}^L \lambda_j \cdot r \quad (۸-۴)$$

در روابط بالا N تعداد کل گره‌هاست، P_i و U_i به ترتیب توان اکتیو و زمان دسترس‌ناپذیری مربوط به گره i است که با ضرب آن‌ها در هم ENS برای گره مورد نظر بدست می‌آید. پارامتر L تعداد خطوط است و برای محاسبهٔ U_i گره i به ازای همهٔ احتمالات وقوع^۱ رخدادها بررسی می‌شود و تحلیل می‌شود که با هر احتمال وقوع، گره i جزء کدام دسته از گره‌ها قرار می‌گیرد سپس در r یا زمان مربوط به آن گره‌ها (که برابر زمان تعمیر یا مانور و یا اینکه همواره برقرار است و زمان برابر صفر است) ضرب می‌شود. فرض کنید یکی از آرایش‌هایی که در حین حل مسئله تجدید آرایش همراه با جایابی تولید شده بصورت شکل (۴-۹) است و اکنون باید ENS برای این آرایش محاسبه شود.



شکل (۴-۹): شبکه توزیع نمونه

¹ Contingency

جدول (۴-۴): اطلاعات مربوط به شبکه توزیع نمونه

خط	گره	λ , f/yr	KW-KVAr *	*تعداد مشترکین
L ₁	۱-۲	۰/۲	۸۰۰-۳۰۰	۲۸
L ₂	۲-۳	۰/۳	۶۰۰-۲۵۰	۲۰
L ₃	۲-۴	۰/۲	۱۰۰۰-۴۰۰	۴۵
L ₄	۳-۵	۰/۱	۷۵۰-۳۰۰	۲۵
L ₆	۵-۶	۰/۲	۴۰۰-۱۵۰	۲۲
L ₅	۴-۵	۰/۱		

*توان و تعداد مشترکین در انتهای خط

همانطور که قبلاً گفته شد ادوات حفاظتی در محاسبهٔ ENS نقش مؤثری دارند بنابراین باید تأثیر نوع این تجهیزات و مکان آن‌ها در الگوریتم آورده شود. از اینرو به هر خط از نظر نوع و مکان تجهیز حفاظتی یک عددی نسبت داده شده است که در جدول (۲-۴) آورده شده است. در جدول زیر منظور از ابتدای خط یعنی آن طرفی از خط که سمت منبع اصلی است و انتهای خط طرفی است که سمت منبع اصلی نیست.

جدول (۴-۵): کدگذاری خطوط از نظر تجهیزات حفاظتی

نوع	مکان	کد
	هیچ تجهیز وجود نداشته باشد	۰
هر تجهیز که قابلیت قطع جریان خط را ندارد اما قابلیت قطع و وصل خطوط باردار را دارد مانند سکسیونرها	ابتدای خط	۱
	انتهای خط	۲
	هر دو طرف	۳
هر تجهیز که قابلیت قطع جریان خط را دارد مانند کلیدها و سکشنالایزر-فیوزها	ابتدای خط	۴
	انتهای خط	۵
	هر دو طرف	۶

مثلاً برای شبکه توزیع نمونه شکل (۹-۴) کدگذاری به صورت زیر می‌شود.

جدول (۴-۶): کدگذاری خطوط شبکه توزیع نمونه

شماره خط	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆
کد	۴	۴	۴	۳	۱	۴

نحوه تشخیص توپولوژی شبکه و یافتن بردارهای N و L بطور کامل در فصل سوم آورده شده است.

با استفاده از این روش می‌توان تجهیزات حفاظتی یا کد مربوط به خطوط هر شاخه را تشخیص داد. برای

شبکه توزیع نمونه N و L و بردار P که مربوط به کد خطوط می‌شود بصورت زیر است:

$$L_1 = [۱۳]$$

$$N_1 = [۱۲۴]$$

$$P_1 = [۴۴]$$

$$L_2 = [۱۲۴۶]$$

$$N_2 = [۱۲۳۵۶]$$

$$P_2 = [۴۴۳۴]$$

از آنجاییکه دو شاخه در شبکه مورد بررسی وجود دارد پارامترهای فوق اندیس‌های ۱ و ۲ می‌گیرند. پس از تشخیص توپولوژی شبکه، تمام خطوطی که در شبکه وصل هستند را با فرض وقوع خطا بصورت تک تک قطع می‌کنیم و برای هر کدام مراحل زیر را انجام می‌دهیم:

۱. ابتدا تشخیص می‌دهیم خط خطادار L_j در کدام شاخه قرار دارد

۳. در یکی از شاخه‌هایی که این خط در آن قرار دارد با استفاده از ماتریس P مربوط به آن شاخه، خطی که در بالادست خط L_j قرار دارد و قابلیت قطع جریان خطا را دارد پیدا می‌شود (مثلاً خط L_i). این خط باید یکی از کدهای ۴ و ۵ و یا ۶ را داشته باشد. اکنون با استفاده از بردارهای L در تمام شاخه‌ها باید خط L_i پیدا شود و سپس توسط بردارهای N متناظر با این شاخه‌ها، گره‌هایی که بالاتر از خط L_i قرار دارند جزء گره‌هایی هستند که تحت تأثیر خطا قرار می‌گیرند و باید تا زمان تعمیر یا زمان عملیات مانور بی‌برق باشند. این گره‌ها در برداری مثلاً inf ذخیره می‌شوند.

۴. اکنون با استفاده از بردار P ، خط خطادار یعنی L_j از دو طرف برای تعمیر ایزوله می‌شود و گره‌هایی که باید برای تعمیر بی‌برق باشند، در هر شاخه مشخص می‌شود و جزء گره‌های گروه چهارم قرار می‌گیرند.

۵. در هر شاخه‌ای که خط L_i در آن وجود دارد با استفاده از بردار N مربوط به آن شاخه، از خط L_i به پایین دست می‌آییم و همه گره‌ها را تا زمانی که به یکی از گره‌های گروه چهارم برسیم در برداری ذخیره می‌کنیم این گره‌ها جزء گره‌های گروه دوم هستند.

۶. تمام گره‌هایی که تحت تأثیر خطا قرار گرفتند و در inf قرار دارند به جز گره‌های گروه دوم و چهارم، جزء گروه سوم هستند یعنی از طریق یک کلید ارتباطی و گره‌های گروه اول که دچار قطعی نشده‌اند و خطا بر آن‌ها تأثیری ندارد، می‌توانند تغذیه شوند. ذکر این نکته ضروری است که چنانچه بر اثر خطایی، در گروه اول هیچ گره‌ای وجود نداشته باشد تا از طریق یک کلید

ارتباطی گروه‌های گروه سوم را تغذیه کند، آنگاه این گروه‌ها هم باید تا زمان تعمیر بی‌برق باشند و جزء گروه‌های گروه چهارم قرار می‌گیرند. این حالت وقتی خط L_1 در شبکه توزیع نمونه قطع شود رخ می‌دهد.

۷. برای همه گروه‌ها نرخ خروج خط L_j را در مدت زمان خاموشی (r) مربوط به آن گروه (که می‌تواند یا صفر و یا زمان تعمیر و یا زمان مانور باشد) ضرب می‌کنیم تا U هر گروه به ازای این پیشامد (خروج خط L_j) بدست آید. این مقادیر در یک برداری مثلاً U_n ذخیره می‌شود.

روال بالا را به ازای خروج همه خطوط انجام می‌دهیم و سپس مدت زمان خاموشی سالیانه برای هر گروه از طریق جمع U های مربوط به هر گروه به ازای خروج هر خط، که در بردار U_n ذخیره شده‌اند، بدست می‌آید.

۸. اکنون برای گروه‌هایی که در پایین دست خط L_j قرار دارند و به آن‌ها DG وصل است باید محاسبه شود که چه مقدار از بار این باس‌ها توسط DG تأمین می‌شود یا بعبارت دیگر چقدر از بار باس تأمین نمی‌شود. مقدار توان تأمین نشده توسط روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{P_i}{N_c} = \text{مقدار توان اکتیوی که هر مشترک مصرف می‌کند} \quad (۹-۴)$$

$$n_c = \left\lceil \frac{S_{DG} \times \cos \varphi}{P} \right\rceil = \text{تعداد مشترکینی که توسط تولید پراکنده تغذیه می‌شوند} \quad (۱۰-۴)$$

$$P_c = P \times n_c = \text{بار اکتیوی که توسط تولید پراکنده تغذیه می‌شود} \quad (۱۱-۴)$$

در روابط بالا P_i توان اکتیو، $\cos \psi$ ضریب قدرت بار و N_c تعداد مشترکین متصل به باسی است که DG به آن باس وصل شده است. بنابراین مقدار باری که تغذیه نشده است برابر $P_{pns} = P_i - P_c$ است.

بدیهی است که چنانچه توان DG بیشتر از بار مصرفی باس باشد آنگاه کل بار توسط DG تأمین می‌شود و نیازی به محاسبات بالا نیست.

۹. در آخرین گام برای تمام گره‌ها، U هر گره را در مقدار بار تأمین نشده ضرب می‌کنیم تا ENS

مربوط به هر گره حساب شود. بعد از آن که ENS برای همه گره‌ها بدست آمد، با هم جمع می‌-

شوند و انرژی تغذیه نشده برای کل شبکه بدست می‌آید.

جدول (۴-۴) نتایج محاسبه ENS را به ازای خروج هر خط و برای کل شبکه توزیع نمونه نشان می‌دهد.

جدول (۴-۷): نتایج مربوط به محاسبه ENS شبکه توزیع نمونه

شماره باس	۲					۳					۴				
contingency	λ	r	U	P_{pns}	ENS	λ	r	U	P_{pns}	ENS	λ	r	U	P_{pns}	ENS
L_1	۰/۲	۱	۰/۲	۸۰۰	۱۶۰	۰/۲	۱	۰/۲	۶۰۰	۱۲۰	۰/۲	۱	۰/۲	۱۰۰۰	۲۰۰
L_2	۰/۳	۰	۰	۰	۰	۰/۳	۱	۰/۳	۶۰۰	۱۸۰	۰/۳	۰	۰	۰	۰
L_3	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۱	۰/۲	۱۰۰۰	۲۰۰
L_4	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰/۵	۰/۰۵	۶۰۰	۳۰	۰/۱	۰	۰	۰	۰
L_6	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰
کل	۱	۰/۲	۰/۲	۸۰۰	۱۶۰	۱	۰/۵۵	۰/۵۵	۶۰۰	۳۳۰	۱	۰/۴	۰/۴	۱۰۰۰	۴۰۰
شماره باس	۵					۶									
contingency	λ	r	U	P_{pns}	ENS	λ	r	U	P_{pns}	ENS					
L_1	۰/۲	۱	۰/۲	۳۰۰	۶۰	۰/۲	۱	۰/۲	۴۰۰	۸۰					
L_2	۰/۳	۰/۵	۰/۱۵	۳۰۰	۴۵	۰/۳	۰/۵	۰/۱۵	۴۰۰	۶۰					
L_3	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰					
L_4	۰/۱	۰/۵	۰/۰۵	۳۰۰	۱۵	۰/۱	۰/۵	۰/۰۵	۴۰۰	۲۰					
L_6	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۱	۰/۲	۴۰۰	۸۰					
کل	۱	۰/۴	۰/۴	۳۰۰	۱۲۰	۱	۰/۶	۰/۶	۴۰۰	۲۴۰					

در جدول بالا منظور از P_{pns} توان تأمین نشده در باس است. این مقدار برای باس ۵ که به DG وصل است برابر ۳۰۰ کیلووات است که بصورت زیر بدست آمده است:

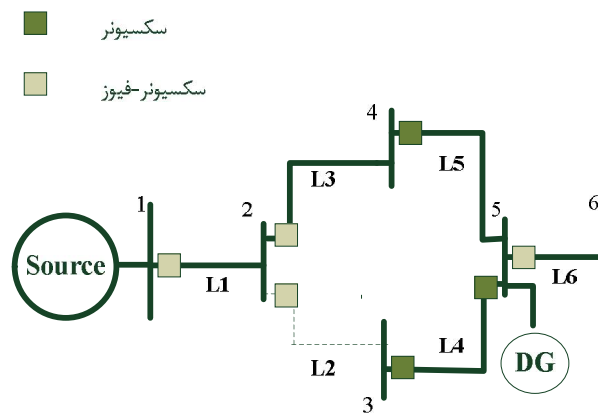
$$P = \frac{P_i}{N_c} = \frac{750}{25} = 30$$

$$n_c = \left\lceil \frac{S_{DG} \times \cos \varphi}{P} \right\rceil = \left\lceil \frac{500 \times \frac{750}{\sqrt{(750^2 + 300^2)}}}{30} \right\rceil = \lceil 15.47 \rceil = 15$$

$$P_c = P \times n_c = 30 \times 15 = 450$$

$$P_{pns} = P_i - P_c = 750 - 450 = 300$$

مقدار کل ENS شبکه برابر است با مجموع ENS هر گره که می‌شود ۱۲۵۰ کیلووات ساعت بر هر سال (KWh/yr). در زیر دو آرایش مختلف وجود دارد که برای آن‌ها نیز ENS حساب شده است.



شکل (۴-۱۰): آرایش دیگری از شبکه توزیع نمونه

جدول (۴-۸): نتایج مربوط به محاسبه ENS شبکه توزیع نمونه شکل (۴-۱۰)

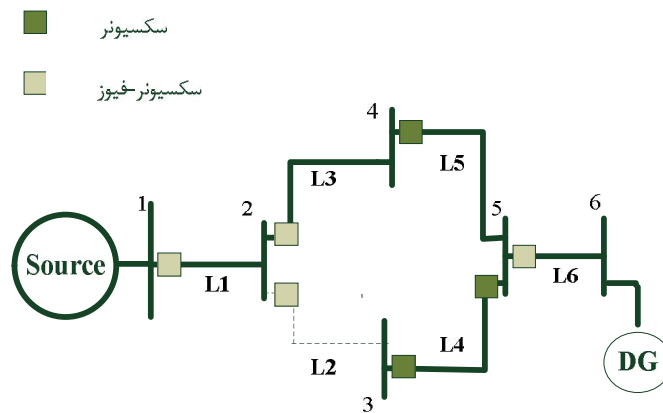
شمارهٔ باس	۲					۳					۴				
contingency	λ	r	U	P _{pns}	ENS	λ	r	U	P _{pns}	ENS	λ	r	U	P _{pns}	ENS
L ₁	۰/۲	۱	۰/۲	۸۰۰	۱۶۰	۰/۲	۱	۰/۲	۶۰۰	۱۲۰	۰/۲	۱	۰/۲	۱۰۰۰	۲۰۰
L ₃	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۶۰۰	۶۰	۰/۲	۱	۰/۲	۱۰۰۰	۲۰۰
L ₄	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰/۵	۰/۰.۵	۶۰۰	۳۰	۰/۱	۰/۵	۰/۵	۱۰۰۰	۵۰
L ₅	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰/۵	۰/۰.۵	۶۰۰	۳۰	۰/۱	۰/۵	۰/۵	۱۰۰۰	۵۰
L ₆	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰
کل	۰/۸	۰/۲۵	۰/۲	۸۰۰	۱۶۰	۰/۸	۰/۵	۰/۴	۶۰۰	۲۴۰	۰/۸	۰/۶۲۵	۰/۵	۱۰۰۰	۵۰۰

شمارهٔ باس	۵					۶				
contingency	λ	r	U	P _{pns}	ENS	λ	r	U	P _{pns}	ENS
L ₁	۰/۲	۱	۰/۲	۳۰۰	۶۰	۰/۲	۱	۰/۲	۴۰۰	۸۰
L ₃	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۳۰۰	۳۰	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۴۰۰	۴۰
L ₄	۰/۱	۰/۵	۰/۰.۵	۳۰۰	۱۵	۰/۱	۰/۵	۰/۰.۵	۴۰۰	۲۰
L ₅	۰/۱	۱	۰/۱	۳۰۰	۳۰	۰/۱	۱	۰/۱	۴۰۰	۴۰
L ₆	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۱	۰/۲	۴۰۰	۸۰
کل	۰/۸	۰/۵۶۳	۰/۴۵	۳۰۰	۱۳۵	۰/۸	۰/۸۱۳	۰/۶۵	۴۰۰	۲۶۰

برای آرایش بالا نیز ENS برابر مجموع ENS گره‌های بالا است که برابر (KWh/yr) ۱۲۹۵ می‌شود.

در آرایش قبل مکان DG ثابت بود ولی آرایش تغییر کرده است. در شبکه زیر آرایش همانند آرایش بالا

است اما مکان DG تغییر کرده است.



شکل (۴-۱): شبکه توزیع نمونه با مکان DG متفاوت

در این شبکه نیز مقدار ENS همانند شبکه‌های قبل بدست می‌آید که برابر 1035 (KWh/yr) است. همانطور که از نتایج (۴-۱۱) پیداست مکان DG بر روی توان تأمین نشده هر باس (P_{pns}) و آرایش شبکه بر روی مدت زمان خاموشی سالیانه (U) تأثیر دارند که نشان‌دهنده اهمیت آرایش شبکه و مکان DG در بهبود قابلیت اطمینان است و همچنین بیانگر این است که برای داشتن شبکه با عملکرد مناسب باید مسئله تجدید آرایش و جایابی DG بطور همزمان در نظر گرفته شود.

جدول (۹-۴): نتایج مربوط به محاسبه ENS شبکه توزیع نمونه شکل (۴-۱۱)

شمارهٔ باس	۲					۳					۴				
contingency	λ	r	U	P_{pns}	ENS	λ	r	U	P_{pns}	ENS	λ	r	U	P_{pns}	ENS
L_1	۰/۲	۱	۰/۲	۸۰۰	۱۶۰	۰/۲	۱	۰/۲	۶۰۰	۱۲۰	۰/۲	۱	۰/۲	۱۰۰۰	۲۰۰
L_3	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۶۰۰	۶۰	۰/۲	۱	۰/۲	۱۰۰۰	۲۰۰
L_4	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰/۵	۰/۰.۵	۶۰۰	۳۰	۰/۱	۰/۵	۰/۰.۵	۱۰۰۰	۵۰
L_5	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰/۵	۰/۰.۵	۶۰۰	۳۰	۰/۱	۰/۵	۰/۰.۵	۱۰۰۰	۵۰
L_6	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰
کل	۰/۸	۰/۲۵	۰/۲	۸۰۰	۱۶۰	۰/۸	۰/۵	۰/۴	۶۰۰	۲۴۰	۰/۸	۰/۶۲۵	۰/۵	۱۰۰۰	۵۰۰

شمارهٔ باس	۵					۶				
contingency	λ	r	U	P_{pns}	ENS	λ	r	U	P_{pns}	ENS
L_1	۰/۲	۱	۰/۲	۷۵۰	۶۰	۰/۲	۱	۰/۲	۰	۰
L_3	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۷۵۰	۳۰	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۰	۰
L_4	۰/۱	۰/۵	۰/۰.۵	۷۵۰	۱۵	۰/۱	۰/۵	۰/۰.۵	۰	۰
L_5	۰/۱	۱	۰/۱	۷۵۰	۳۰	۰/۱	۱	۰/۱	۰	۰
L_6	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۱	۰/۲	۰	۰
کل	۰/۸	۰/۵۶۳	۰/۴۵	۷۵۰	۱۳۵	۰/۸	۰/۸۱۳	۰/۶۵	۰	۰

از بین سه پیکربندی بالا، بهترین پیکربندی از لحاظ قابلیت اطمینان (ENS) مربوط شبکه بالا است.

همچنین لازم بذکر است در محاسبات بالا از آنجایی که توان ظاهری DG بیشتر از توان باس ۶ است این

گره همواره توسط DG تغذیه می‌شود بنابراین P_{pns} همواره برابر صفر است.

$$\sqrt{P_i^2 + Q_i^2} = \sqrt{400^2 + 150^2} \leq 500 = S_{DG}$$

۴-۴ خلاصه فصل

این فصل در ابتدا به تشریح یک مسئله ساده تجدید آرایش پرداخته است و سپس الگوریتم بر روی شبکه ۳۳ باسه پیاده‌سازی شد. سپس برای محاسبه قابلیت اطمینان از روش تحلیلی استفاده شده است. در واقع برای محاسبه ENS یک روش کلی بر اساس الگوریتم تشخیص توپولوژی شبکه ارائه شده است که برای هر آرایشی قابل اجرا است. در پایان الگوریتم محاسبه ENS بر روی شبکه توزیع نمونه اجرا شده است و نتایج آن بطور کامل آورده شده است.

ارائه روش تجدید آرایش در حضور منابع تولید پراکنده همزمان با جایابی آنها و شبیه‌سازی

۵-۱ مقدمه

امروزه شرکت‌های برق در تلاشند تا علاوه بر افزایش سود خود، میزان رضایتمندی مشتریان نیز افزایش یابد. به همین دلیل به سمت عملکرد بهینه شبکه های توزیع رفته‌اند. لازمه این عملکرد، استفاده از منابع تولید پراکنده و افزایش قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع است. جایابی DG در شبکه توزیع میزان اثربخشی منابع تولید پراکنده را بشدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. جایابی DG خود بر روی قابلیت اطمینان نیز تأثیر دارد. یکی از روش‌های دیگری که بر روی قابلیت اطمینان تأثیر دارد و ارزان قیمت نیز است، استفاده از تجدید آرایش و پیدا کردن آرایش بهینه برای شبکه توزیع است. جایابی DG به شدت به آرایش سیستم بستگی دارد و برعکس، یعنی آرایش سیستم نیز به مکان DG بستگی دارد. تاکنون در زمینه تجدید آرایش و همزمان جایابی DG برای بهبود قابلیت اطمینان تحقیقی صورت نگرفته است به همین دلیل در این فصل به بررسی همزمان تجدید آرایش و جایابی DG برای رسیدن به دو هدف، یکی بهبود یکی از شاخص‌های مهم قابلیت اطمینان به نام انرژی تغذیه نشده (ENS) و دیگری کاهش تلفات پرداخته شده است. از آنجاییکه مدل‌سازی ریاضی این مسئله بهینه‌سازی کار بسیار دشواری است، لذا در این پایان‌نامه از یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند استفاده شده است. یکی از الگوریتم‌هایی که کارایی بسیار مناسبی در پیدا کردن جواب بهینه در مسائل چندهدفه و بخصوص تجدید آرایش دارد الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ (NSGA II) است که به جای یک جواب چندین جواب در قالب جبهه پارتو ارائه می‌کند. نحوه کدگذاری الگوریتم ژنتیک با استفاده از یک روش جدید به نام کدگذاری لبه پنجره صورت خواهد گرفت که یکی از ویژگی‌های اصلی آن ایجاد جمعیت اولیه قابل قبول با ساختار شعاعی است. بنابراین دو هدف گفته شده در بالا توسط الگوریتم بهینه‌سازی هوشمند (NSGA II) بهینه می‌شوند.

با توجه به اینکه در فصل‌های گذشته نیازمندی‌های مربوط به حل مسئله از جمله پخش بار، الگوریتم هوشمند (NSGA II)، تجدید آرایش و محاسبه ENS تشریح و توضیح داده شده است. در این فصل مسئله تجدید آرایش همزمان با جابجایی DG با هدف بهبود قابلیت اطمینان و کاهش تلفات بر روی دو شبکه توزیع به نام‌های سیستم ۱۷ باسه Civanlar و سیستم ۳۳ باسه Baran شبیه‌سازی می‌شود و نتایج آن برای اثبات کارایی الگوریتم ارائه می‌گردد.

۵-۲ اجرای روش پیشنهادی

در این پایان‌نامه، مسئله تجدید آرایش همزمان با جابجایی DG در شبکه توزیع برای رسیدن به اهداف زیر انجام می‌شود:

۱. حداقل کردن تلفات اهمی شبکه

$$P_{\text{losses}} = \sum 3R_i I_i^2 \quad (۱-۵)$$

۲. حداقل کردن انرژی تأمین نشده (ENS)

$$ENS = \sum_{i=1}^N P_i \cdot U_i \quad (۲-۵)$$

بنابر معیارهای بالا، دو تابع هدف، که فرمول‌های مربوط به آن‌ها در بالا آمده است، تعریف می‌شود که طبق قیود زیر باید حداقل شوند:

۱. حفظ توپولوژی شعاعی شبکه توزیع

۲. نگه داشتن ولتاژ باس‌ها در محدوده مجاز ($V_{i \min} \leq V_i \leq V_{i \max}$) که در آن $V_{i \max}$ و $V_{i \min}$ به ترتیب برابر ۰/۹۵ و ۱/۰۵ پریونیت است.

۳. نگه داشتن جریان خطوط در محدوده مجاز ($I_i \leq I_{i \max}$) که $I_{i \max}$ مربوط به هر خط در پیوست‌ها آمده است.

در این بخش برای دستیابی به پاسخ بهینه مسئله تجدید آرایش همزمان با جابجایی منابع تولید پراکنده، از روش NSGA II استفاده می‌شود. تمام الگوریتم‌های هوشمند از یک نقطه ابتدایی که معمولاً بصورت تصادفی انتخاب می‌شود شروع بکار می‌کنند و سپس در هر مرحله خود را بهبود می‌بخشند. این انتخاب تصادفی ممکن است مشکلاتی را بوجود آورد مثلاً در مسئله تجدید آرایش به دلیل اینکه باید قید شعاعی رعایت شود، کروموزوم‌هایی که از ساخت تصادفی جمعیت اولیه تشکیل می‌شوند ممکن است دارای حلقه باشند و یا حتی برخی بارها بی‌برق شوند. برای اجتناب از این مشکلات، از یک روش کدگذاری جدید به نام کدگذاری لبه پنجره استفاده می‌شود و در نهایت با استراتژی خاصی جمعیت اولیه ایجاد می‌شود که در فصل چهارم بطور کامل در مورد آن توضیح داده شده است. کروموزوم پیشنهادی در این مسئله از دو بخش اصلی تشکیل شده است. بخش اول مربوط به آرایش شبکه است و بخش دیگر مربوط به مکان DGها است که عمگرهای برش و جهش بصورت جداگانه و استراتژی‌های مختلف بر روی آن‌ها انجام می‌شود. شکل (۵-۱) کروموزوم مورد استفاده در این پایان‌نامه را نشان می‌دهد.

شماره خطوط					شماره باس			
1	2	4	6		7	12	15	

شکل (۵-۱): کروموزوم پیشنهادی

در این کروموزوم بخش اول مربوط به آرایش شبکه است و ژن‌های این بخش، شماره خطوطی که در شبکه وصل هستند را نشان می‌دهد. بخش دوم به مکان DGها مربوط می‌شود و ژن‌ها در آن شماره باس-

هایی که DG به آن‌ها وصل است را نشان می‌دهد. بنابراین طول کروموزوم یا تعداد ژن‌ها برابر تعداد خطوط متصل به شبکه (برقدار) به علاوهٔ تعداد DG‌ها است بعد از اینکه جمعیت اولیه تشکیل شد، به ازای هر کروموزوم که بیانگر پیکربندی شبکه است، محاسبات پخش بار و محاسبات ENS انجام می‌شود و تلفات شبکه و ENS به ترتیب با استفاده از روابط (۵-۱) و (۵-۲) محاسبه می‌شود. نحوهٔ انجام و جزئیات اجرای این محاسبات بطور کامل در فصول گذشته آورده شده است. در این فصل بصورت کامل و با ترکیب مطالب فصل چهار، روش پیشنهادی ارائه می‌شود.

در انجام پخش بار باید توجه کرد که DG‌ها در ضریب توان واحد بهره‌برداری می‌شوند و بصورت یک بار منفی مدل می‌شوند یعنی تمام توان ظاهری آن‌ها بصورت یک بار منفی با بار باس جمع می‌شود و توان راکتیو به شبکه تزریق نمی‌شود. البته باید توجه شود به هنگام وقوع خطا وقتی که DG خاصی از شبکه خارج می‌شود و فقط بارهای مربوط به باس خودش را تغذیه می‌کند، دیگر در ضریب توان واحد بهره‌برداری نمی‌شود، چون راه تغذیه بار از سمت شبکه بسته است و DG باید توان راکتیو باس خود را خودش تأمین کند که از آنجاییکه فرض می‌شود DG‌های مورد استفاده شده در این بخش قابلیت کنترل توان اکتیو و راکتیو را دارند، این کار بسادگی قابل اجرا است.

بعد از محاسبهٔ پخش بار و ENS در هر تکرار از الگوریتم پیشنهادی، توابع برازندگی مربوط به هر تابع هدف محاسبه می‌شود و سپس هر کدام از کروموزوم‌های والدین و فرزندان توسط مفهوم غلبه با یکدیگر مقایسه می‌شوند و در جبهه‌های مختلف پارتو دسته‌بندی می‌شوند. تعیین جبهه‌های مختلف پارتو از بین فرزندان و والدین باعث می‌شود که همواره نخبه‌سالاری^۱ رعایت شود. بر اساس این مفهوم در مسئلهٔ حداقل سازی، کروموزوم a بر کروموزوم b غلبه می‌کند، هرگاه به ازای تمام توابع برازندگی، مقادیر حاصل برای a از b بیشتر (بدتر) نباشد و حداقل به ازای یک تابع برازندگی، مقدار حاصل برای a از b

^۱ Elitism

کمتر (بهتر) باشد. بعد از اینکه کروموزوم‌ها با یکدیگر مقایسه شدند و آن‌هایی که غلبه نشدند مشخص شدند، از جمعیت جدا می‌شوند و در جبههٔ پارتو اول قرار می‌گیرند. سپس کروموزوم‌های باقیمانده دوباره با هم مقایسه می‌شوند و آن‌هایی که غلبه نشدند در جبههٔ پارتو دوم قرار می‌گیرند و از جمعیت جدا می‌شوند. این روند تا زمانی ادامه دارد که تعداد کل کروموزوم‌های موجود در جبهه‌ها برابر یا بیشتر از تعداد جمعیت اولیه شود. به این ترتیب والدین مورد نیاز برای تولید نسل بعدی مشخص می‌شوند. چنانچه تعداد والدین بیشتر از تعداد جمعیت اولیه شد برخی از کروموزوم‌های جبههٔ آخر (مثلاً جبههٔ پارتو λ_1) باید حذف شوند تا تعداد والدین و جمعیت اولیه برابر شود. برای این کار، از مفهوم حفظ تنوع پاسخ‌ها برای انتخاب تعداد کروموزوم‌های مورد نظر از جبههٔ پارتو λ_1 استفاده می‌شود تا تنوع والدین شود. بر اساس این مفهوم ابتدا برای هر کروموزوم، شاخصی بر اساس نرم اقلیدسی توابع برازندگی دو کروموزوم نزدیک به آن (از دو طرف) بدست می‌آید که این شاخص هر چه بیشتر باشد محدودهٔ بیشتری از فضای مسئله را تحت پوشش قرار می‌دهد و انتخاب آن‌ها به حفظ تنوع پاسخ‌ها کمک می‌کند. بنابراین به تعداد مورد نیاز کروموزوم از جبههٔ پارتو λ_1 ، که شاخص آن‌ها از بقیه بیشتر است انتخاب می‌شود و بقیه حذف می‌شوند تا تعداد کروموزوم‌های والدین به اندازهٔ جمعیت اولیه برسد. اکنون از بین والدین با استفاده از انتخاب رقابتی به ازای $n=2$ ، پدر و مادر مورد نیاز برای عمل برش انتخاب می‌شود. در اینجا نیز انتخاب پدر و مادر به دلیل اینکه برای هر کروموزوم دو تابع برازندگی وجود دارد، با انتخاب در الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه متفاوت است. روش به اینصورت است که برای انتخاب هر کدام از پدر یا مادر، دو کروموزوم ($n=2$) به تصادف از جمعیت والدین انتخاب می‌شود و کروموزومی که در جبههٔ پایین‌تری قرار دارد به عنوان پدر یا مادر انتخاب می‌شود. چنانچه هر دو کروموزوم در یک جبهه قرار داشته باشند، آن کروموزومی که فاصله ازدحامی بیشتری دارد انتخاب می‌شود. در مرحلهٔ آخر، بر روی فرزند حاصل از عملگر برش، جهش انجام می‌شود. بعد از تولید نسل جدید، دوباره تلفات و ENS آن‌ها محاسبه می‌شود و مراحل گفته شده در بالا

تکرار می‌شود. معیار همگرایی الگوریتم تعداد تکرار می‌باشد یعنی با اجرای تعداد تکرار مشخصی، شبیه-سازی به همگرایی می‌رسد. در ادامه، نحوه فرمول‌بندی تابع برازندگی و نحوه انجام عملگرهای برش و جهش مورد بررسی قرار خواهد گرفت. الگوریتم موجود در این پایان‌نامه در محیط نرم‌افزار MATLAB نوشته و توسط کامپیوتری با مشخصات Core i5 CPU-2.3 GHz و 4GB RAM اجرا شده است. فلوچارت الگوریتم شبیه‌سازی، در شکل (۳-۵) آورده شده است.

۵-۲-۱ تابع برازندگی

هدف از محاسبه تلفات و شاخص ENS هر کروموزوم، استفاده از آن‌ها در تابع برازندگی است. تضمین برآورده‌سازی قیود نیز از طریق ملاحظه آن‌ها در تابع برازندگی انجام می‌شود. در واقع با این کار مسئله بهینه‌سازی مقید به یک مسئله بهینه‌سازی نامقید تبدیل می‌شود. نحوه مدل کردن قیود به این صورت است که هرگاه قیدی نقض شود، مقداری به نام خروج از قید محاسبه می‌شود و در ضریبی به نام ضریب جریمه^۱ ضرب می‌شود و در نهایت با تابع هدف مورد نظر جمع می‌شود. در الگوریتم‌های هوشمندی که براساس جبهه پارتو عمل می‌کنند، هر تابع هدف به صورت جداگانه بهینه می‌شود به همین دلیل این قیود باید در تمامی توابع برازندگی لحاظ شوند. از آنجایی که نحوه اجرای الگوریتم بگونه‌ایست که همواره جواب‌های شعاعی تولید می‌شود، نیازی نیست که قید شعاعی بودن در تابع برازندگی مدل شود اما قیود ولتاژ و جریان، در هر دو تابع برازندگی باید مدل شوند.

^۱ Penalty Factor

$$F = \begin{bmatrix} F_{fit_f1} \\ F_{fit_f2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{losses} + \lambda_1 N(V) + \lambda_2 N(I) \\ ENS + \lambda_1 N(V) + \lambda_2 N(I) \end{bmatrix} \quad (3-5)$$

$N(V)$ = Number of nodes with out of range voltages

$N(I)$ = Number of lines with out of range currents

(4-5)

همچنین اگر نخواهیم از الگوریتم‌های هوشمند شامل جبهه پارتو، برای بهینه‌سازی استفاده کنیم و

از الگوریتم‌هایی مانند GA معمولی یا PSO و یا سایر الگوریتم‌های دیگر استفاده کنیم، می‌توان هر دو

تابع هدف را هم‌واحد کرد و آن‌ها را بر حسب (KWh/yr) نوشت. از آن‌جاییکه واحد انرژی تغذیه نشده

(KWh/yr) است پس کفایت تنها واحد P_{losses} که KW است تغییر داده شود. برای این کار باید P_{losses}

را در ۸۷۶۰ ضرب کنیم که تعداد ساعات یک سال است.

$$P = P_{losses} \times 8760 \Rightarrow KW \times h / yr = KWh / yr \quad (5-5)$$

بنابراین تابع برازندگی به صورت زیر می‌شود:

$$F = ENS + P + \lambda_1 N(V) + \lambda_2 N(I) \quad (6-5)$$

در تمام روابط بالا مقادیر λ_1 و λ_2 مقادیر بزرگی انتخاب می‌شوند که در این شبیه‌سازی مقدار

۱۰۰۰ برای آن‌ها در نظر گرفته شده است.

۵-۲-۲ عملگر برش

بعد از تعیین پدر و مادر مورد نظر برای تولید فرزند، یک عدد تصادفی بین صفر و یک انتخاب می‌-

شود و در صورتی که عدد تصادفی از P_c کمتر باشد عملیات برش انجام می‌شود. چنانچه در انتخاب رقابتی

هم کروموزوم پدر و هم کروموزوم مادر مشابه باشند، برای جلوگیری از جواب‌های تکراری عدد تصادفی

کمتر از P_c انتخاب می‌شود تا حتماً بر روی کروموزوم برش انجام شود و فرزند تولید شده مشابه پدر و مادر خود نباشد. با توجه به نوع کدینگ کروموزوم و اینکه کروموزوم پیشنهادی از دو بخش متفاوت تشکیل شده است و همینطور با توجه به اینکه در مسئله تجدید آرایش باید بگونه‌ای عمل شود که توپولوژی شبکه بصورت شعاعی باقی بماند، فرآیند برش برای هر بخش کروموزوم به صورت جداگانه انجام می‌شود. برای بخش اول که به آرایش شبکه مربوط می‌شود به صورت زیر عمل می‌شود:

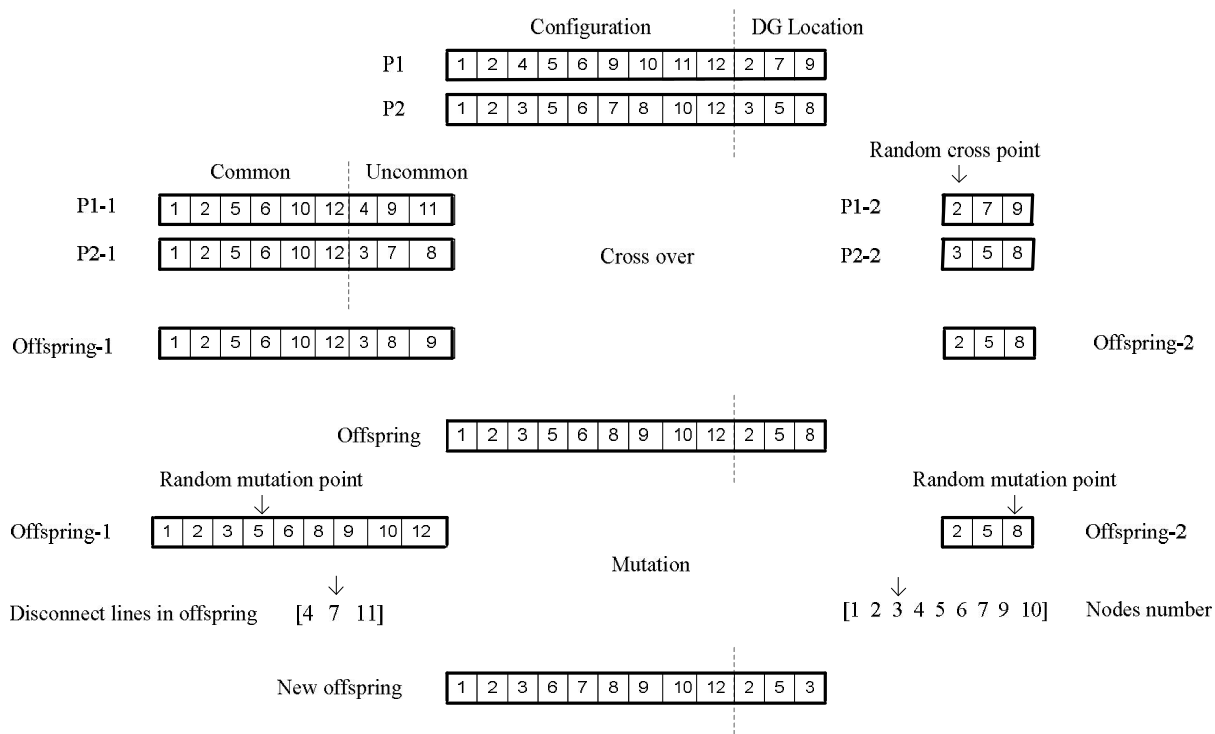
- (۱) ابتدا خطوطی که در پدر مادر مشترک هستند در فرزند قرار داده می‌شود.
- (۲) برای مقدار دهی هر کدام از ژن‌های باقیمانده فرزند، یک خط از خطوط غیر مشترک پدر یا مادر، که مکان ژن آن متناظر با ژنی از فرزند است که می‌خواهیم آن را مقداردهی کنیم، انتخاب می‌شود و در ژن مربوطه فرزند قرار داده می‌شود. این روند تا کامل شدن ژن‌های مربوط به کروموزوم فرزند ادامه می‌یابد. این کار ممکن است باعث حلقوی شدن پیکربندی شبکه بشود بنابراین باید شعاعی بودن شبکه بررسی شود و به عبارت دیگر خطوطی باید انتخاب شود که قید شعاعی بودن شبکه را برآورده سازد.

در بخش دوم کروموزوم که به مکان DG مربوط می‌شود، فرآیند برش، از نوع تک نقطه‌ای است. البته روش floating point که از رابطه (۵-۷) تبعیت می‌کند نیز بررسی شده است اما نتایج حاصل از برش تک نقطه‌ای خیلی بهتر از floating point است. در واقع در روش تک نقطه‌ای الگوریتم خیلی سریع و در همان تکرارهای ابتدایی تقریباً کاندیداهای مناسب برای مکان DGها را پیدا می‌کند و بیشتر جست‌وجوی خود را صرف پیدا کردن آرایش بهینه می‌کند که به زمان بیشتری نیاز دارد. برای درک بیشتر عملکرد برش، یک مثال ساده در شکل (۵-۲) آورده شده است که نحوه انجام آن را نشان می‌دهد.

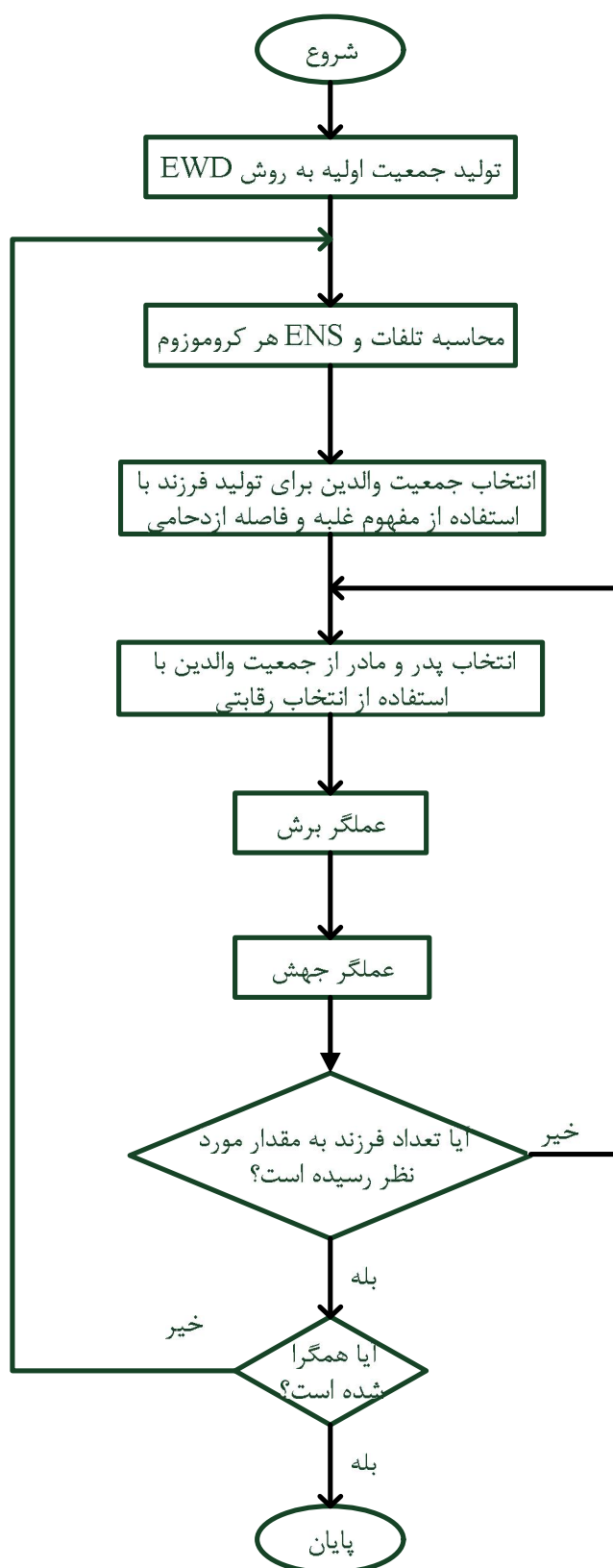
$$\min(P_{1-2}(i), P_{2-2}(i)) + rand \times |P_{1-2}(i) - P_{2-2}(i)| \quad (۷-۵)$$

۵-۲-۳ عملگر جهش

هدف اصلی از فرآیند جهش، فرار از قرار گرفتن در بهینه محلی است. فرآیند جهش نیز مانند برش بعد از یک انتخاب تصادفی بین صفر و یک و کوچکتر بودن از P_m ، در دو مرحله جداگانه انجام می‌شود. باید توجه داشت که همواره در سیستم‌های توزیع خطوطی وجود دارد که بر روی آن‌ها تجهیز حفاظتی وجود ندارد و بنابراین نمی‌توانند در تجدید آرایش شرکت کنند و همواره باید در حالت بسته باقی بمانند. در نتیجه در فرآیند جهش باید توجه شود که این خطوط برای قطع شدن انتخاب نشوند. جهش برای بخش اول کروموزوم که به آرایش شبکه مربوط است، به اینصورت انجام می‌شود که ابتدا خطی از خطوط فرزند که قابلیت شرکت در تجدید آرایش دارد را به تصادف انتخاب می‌کنیم و آن را قطع می‌کنیم، در این حالت شبکه به دو قسمت جدا از هم تقسیم می‌شود. سپس از بین خطوطی که در فرزند حضور نداشتند یک خط را به تصادف انتخاب می‌کنیم و در فرزند قرار می‌دهیم. باید توجه داشت که خطی باید انتخاب شود که قید شعاعی شبکه را برآورده سازد. در بخش دوم کروموزوم نیز جهش مشابه بخش اول انجام می‌شود. به اینصورت که یک ژن به تصادف انتخاب می‌شود و بجای گره‌ای که در این ژن قرار دارد، یک گره دیگر از بین گره‌های شبکه انتخاب می‌شود و در آن ژن قرار داده می‌شود. شکل (۵-۲) نحوه اجرای عملگر جهش را نشان می‌دهد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که با این نوع عملگر جهش، برای رسیدن به همگرایی مناسب، باید نرخ جهش زیاد باشد.



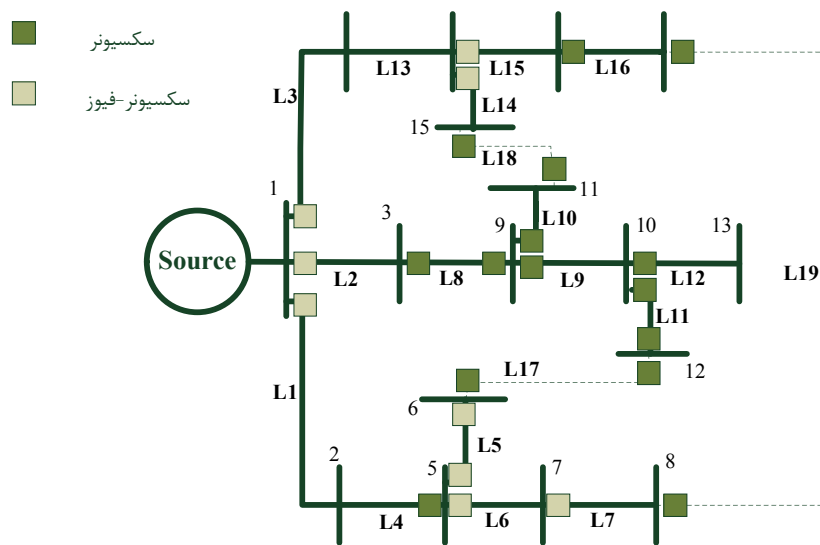
شکل (۵-۲): تولید فرزند توسط عملگر برش و جهش



شکل (۵-۳): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

۳-۵ شبیه سازی و نتایج سیستم اول: Civanlar

سیستم Civanlar با توان ظاهری پایه^۱ ۱۰۰ MVA و ولتاژ نامی ۲۳ KV، به همراه ادوات حفاظتی در شکل (۴-۵) آورده شده است. این سیستم از ۱۷ باس و ۲۰ خط، که ۳ خط از این ۲۰ خط، خط ارتباطی^۲ است، تشکیل شده است و مجموع بارهای اکتیو و راکتیو متصل به آن به ترتیب برابر ۲۸/۷ و ۵/۹ MVar است. در این حالت تلفات سیستم و ENS به ترتیب برابر ۵۱۱/۴۳۹ KW و ۱۱۲/۴۳ MWh/yr است. اطلاعات مربوط به باس‌ها و خطوط این شبکه در پیوست ۱ و [۳۰] آورده شده است.



شکل (۴-۵): سیستم Civanlar

همانطور که در شکل (۴-۵) دیده می‌شود بر روی خط L_{13} هیچ تجهیز حفاظتی وجود ندارد بنابراین این خط نمی‌تواند در تجدید آرایش شرکت کند و همواره باید در حالت وصل به شبکه باقی بماند.

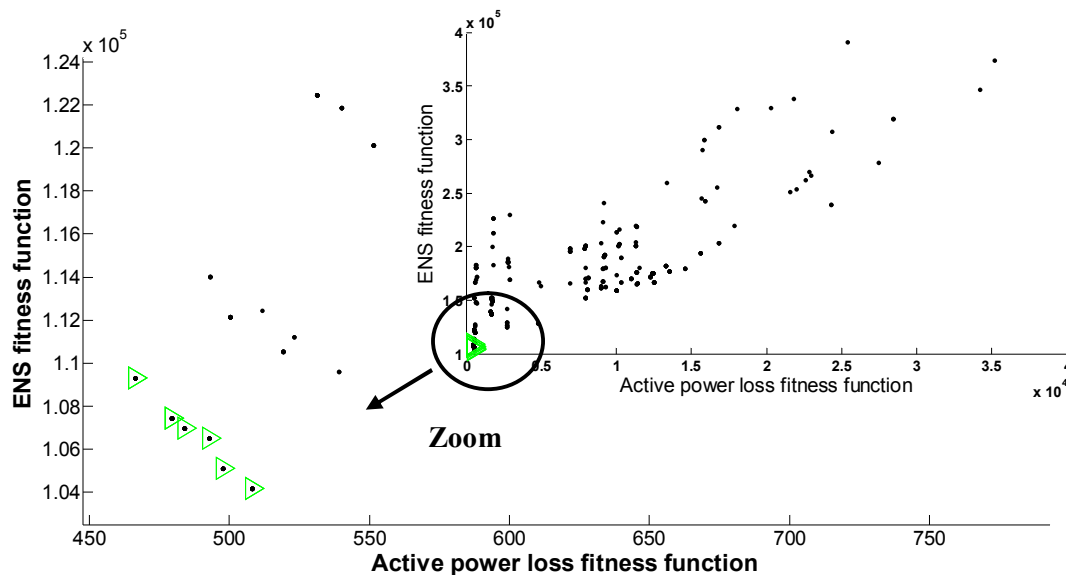
¹ Base

² Tie line

همچنین خط L_{12} نیز به دلیل اینکه در هیچ حلقه‌ای قرار ندارد نمی‌تواند در تجدید آرایش شرکت کند زیرا با قطع این شاخه، راهی برای تغذیه گره ۱۳ باقی نمی‌ماند و این گره همواره بی‌برق می‌ماند.

۵-۳-۱ حالت بدون حضور DG

نتایج شبیه‌سازی به روش NSGA II برای حالتی که در این سیستم DG وجود ندارد، در جدول (۵-۱) آورده شده است. در واقع در این حالت بر روی شبکه فقط تجدید آرایش انجام شده است و پارامترهای شبیه‌سازی از جمله جمعیت اولیه، P_c ، P_m و تعداد تکرار به ترتیب برابر ۱۵، ۰/۸، ۰/۸ و ۳۰ است.



شکل (۵-۵): تمام پاسخ‌های شبیه‌سازی بدون حضور DG در سیستم Civanlar

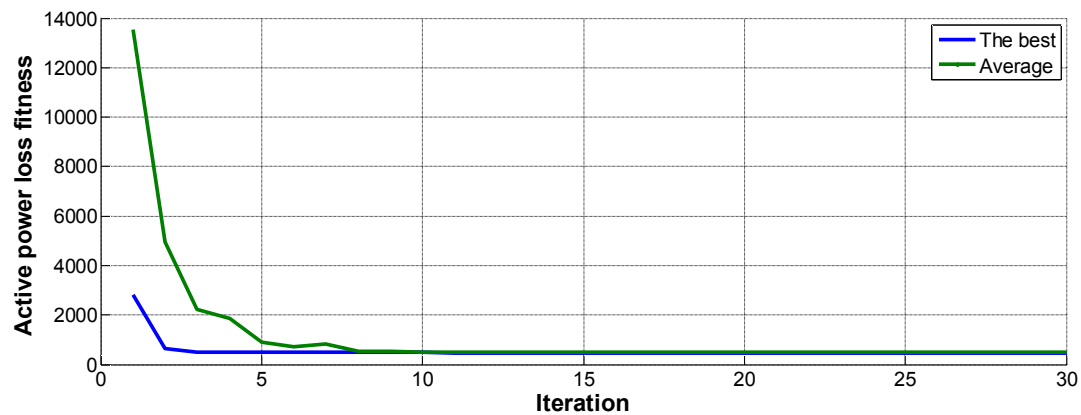
شکل (۵-۵) تمام پاسخ‌هایی که در طول اجرای برنامه بدست آمده است را به همراه نقاطی که در جبهه پارتو قرار دارند، نشان می‌دهد.

جدول (۵-۱): نتایج شبیه سازی بدون حضور DG در سیستم Civanlar

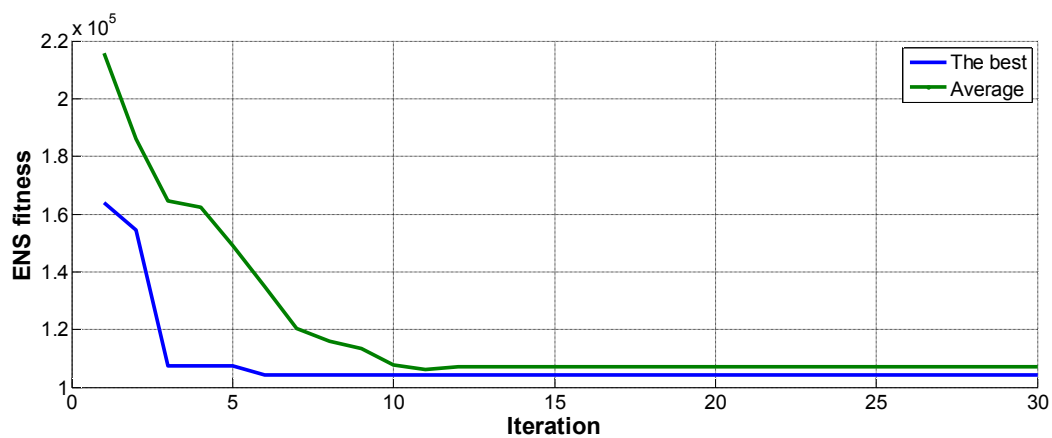
تعداد حضور در جبهه پارتو از ۱۰ بار اجرا	Tie lines	Power loss fitness function	ENS fitness function	Power loss (KW)	ENS (KWh/yr)
۱۰	۱۹-۱۱-۱۰	۴۶۶/۱۲۹۴	۱۰۹۳۱۵	۴۶۶/۱۲۹۴	۱۰۹۳۱۵
۱۰	۱۱-۱۰-۷	۴۷۹/۲۹۴۲	۱۰۷۴۱۵	۴۷۹/۲۹۴۲	۱۰۷۴۱۵
۱۰	۱۹-۱۷-۱۰	۴۸۳/۸۷۱۵	۱۰۶۹۷۵	۴۸۳/۸۷۱۵	۱۰۶۹۷۵
۱۰	۱۶-۱۱-۱۰	۴۹۲/۸۳۵	۱۰۶۵۰۰	۴۹۲/۸۳۵	۱۰۶۵۰۰
۱۰	۱۷-۱۰-۷	۴۹۷/۵۴۷۹	۱۰۵۰۷۵	۴۹۷/۵۴۷۹	۱۰۵۰۷۵
۱۰	۱۷-۱۶-۱۰	۵۰۸/۰۲۶۶	۱۰۴۱۶۰	۵۰۸/۰۲۶۶	۱۰۴۱۶۰

لازم بذکر است که شبیه سازی فوق ۱۰ بار اجرا شده است که در هر ۱۰ بار نتایج جدول (۵-۱) تکرار شده است، یعنی در هر اجرا، ۶ توپولوژی بدست آمده است. یکسان بودن نتایج در هر اجرا حاکی از توانایی الگوریتم NSGA II را در پیدا کردن جبهه پارتو برای سیستم Civanlar است. در این سیستم کمترین تلفات مربوط به آرایش با tie lines (۱۹-۱۱-۱۰) است که تلفات و ENS آن به ترتیب برابر KW ۴۶۶/۱۲۹۴ و ۱۰۹۳۱۵ KWh/yr است همچنین کمترین ENS نیز به آرایش با tie lines (۱۷-۱۶-۱۰) است که تلفات و ENS آن به ترتیب برابر KW ۵۰۸/۰۲۶۶ و ۱۰۴۱۶۰ KWh/yr است. در واقع تلفات مینیمم و ENS مینیمم نسبت به حالت اولیه به ترتیب به اندازه ۸/۸۵٪ و ۷/۳۵٪ کاهش یافته است. در جدول (۵-۱) علت برابر بودن هر کدام از توابع هدف با تابع برازندگی متناظرش این است که در آرایش-های فوق قیود برآورده شده است (یعنی $N(V)$ و $N(I)$ برابر صفر می شوند) و طبق معادله (۵-۳) دیگر

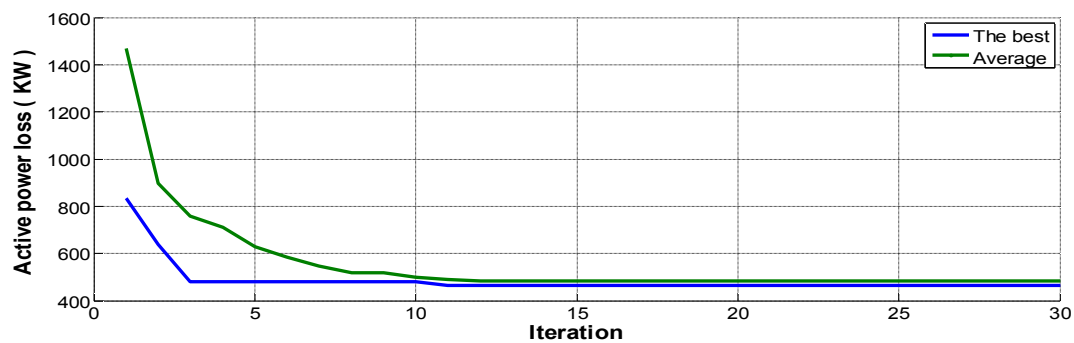
تأثیری در تابع برازندگی ندارد. در ادامه، در شکل‌های (۵-۶) تا (۵-۹) نمودارهای مربوط به توابع هدف و برازندگی بهترین کروموزوم در هر تکرار و مقدار میانگین این توابع در جمعیت هر تکرار آورده شده است.



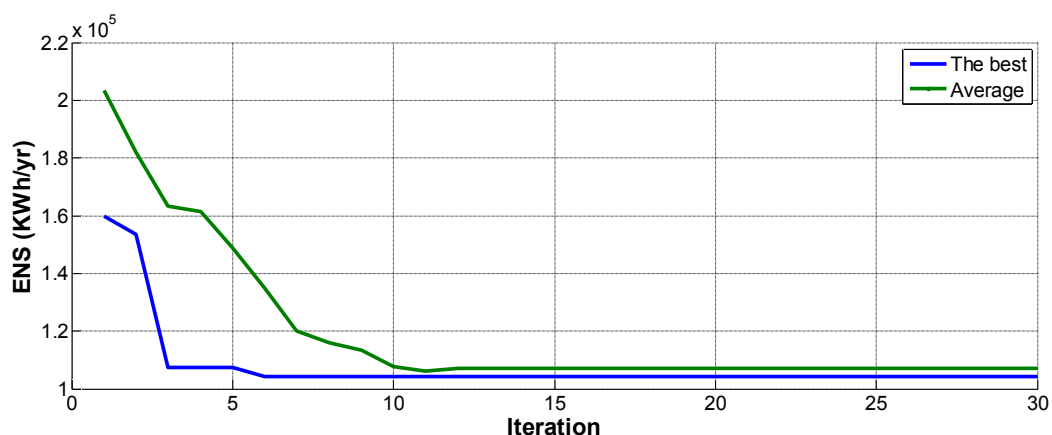
شکل (۵-۶) : روند بهبود تابع برازندگی تلفات



شکل (۵-۷) : روند بهبود تابع برازندگی ENS



شکل (۵-۸) : روند بهبود تابع هدف تلفات



شکل (۵-۹): روند بهبود تابع هدف ENS

از شکل‌های (۵-۶) و (۵-۸) می‌توان مشاهده کرد که از تکرار ۱۱ به بعد اجرای برنامه تأثیری در پیدا کردن آرایش با حداقل تلفات ندارد. این موضوع برای انرژی تغذیه نشده طبق شکل‌های (۵-۷) و (۵-۸) از تکرار ۶ به بعد اتفاق می‌افتد. این به معنای پایان یافتن الگوریتم نیست، در واقع در تکرارهای بعدی ممکن است برخی دیگر از نقاط موجود در جبهه پارتو پیدا شوند.

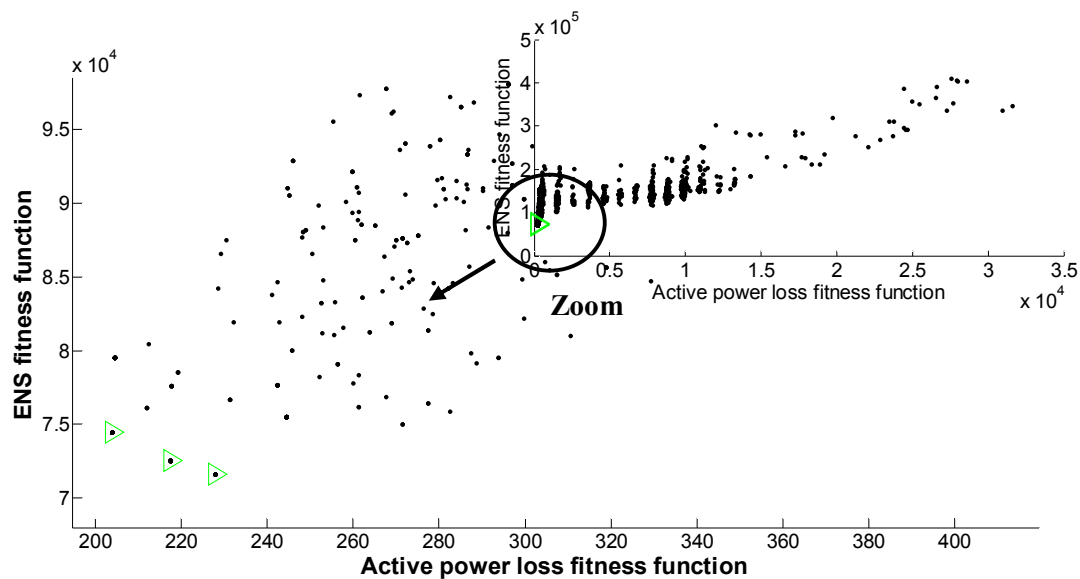
۵-۳-۲ حالت با حضور DG

اکنون شبکه Civanlar در حضور منابع تولید پراکنده بررسی می‌شود یعنی همزمان با تجدید آرایش، جایابی هم انجام می‌شود. برای نشان دادن توانمندی روش پیشنهادی در مسئله تجدید آرایش و همزمان جایابی DG در ادامه برای دو حالت متفاوت از تعداد DG‌ها شبیه‌سازی انجام می‌شود:

الف- نتایج شبیه‌سازی در حضور دو DG

برای این کار فرض می‌شود که دو عدد DG با قدرت ۳/۷۵ MW به شبکه اضافه می‌شود. در این حالت نتایج شبیه‌سازی طبق جدول (۵-۲) است. پارامترهای به کار رفته در این حالت همانند شبیه‌سازی حالت بدون DG است با این تفاوت که تعداد تکرار در اینجا برابر ۱۰۰ می‌باشد. تمام پاسخ‌هایی که در

طول اجرای برنامه بدست آمده است به همراه نقاطی که در جبهه پارتو قرار دارند در شکل (۵-۱۰) نشان داده شده است.



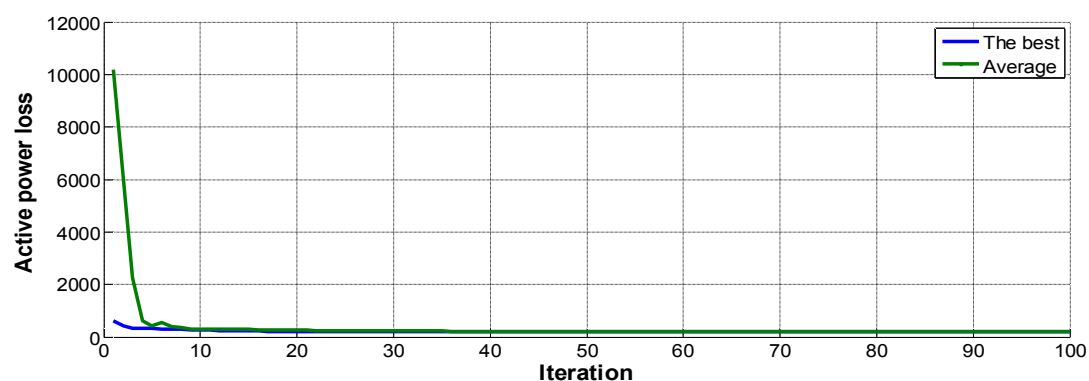
شکل (۵-۱۰): تمام پاسخ‌های شبیه‌سازی با حضور دو DG در سیستم Civanlar

جدول (۵-۲): نتایج شبیه‌سازی با حضور دو DG در سیستم Civanlar

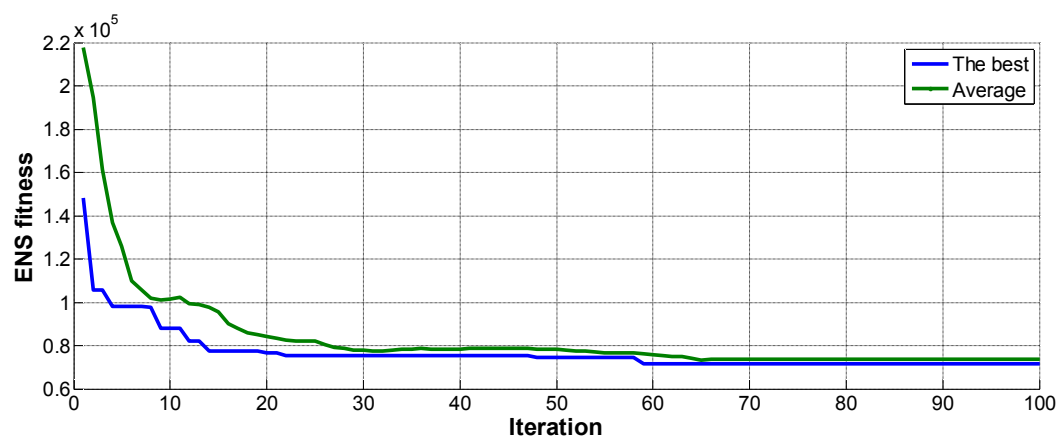
تعداد حضور در جبهه پارتو از ۱۰ بار اجرا	Tie lines	DG location	Power loss fitness function	ENS fitness function	Power loss (KW)	ENS (KWh/yr)
۱۰	۱۹-۱۷-۱۰	۱۳-۱۰	۲۰۳/۷۰۵	۷۴۴۴۴	۲۰۳/۷۰۵	۷۴۴۴۴
۱۰	۱۷-۱۰-۷	۱۳-۱۰	۲۱۷/۳۸۱۴	۷۲۵۴۴	۲۱۷/۳۸۱۴	۷۲۵۴۴
۹	۱۷-۱۶-۱۰	۱۳-۱۰	۲۲۷/۸۶	۷۱۶۲۹	۲۲۷/۸۶	۷۱۶۲۹

نتایج بدست آمده در جدول (۵-۲)، حاصل ۱۰ بار اجرای شبیه‌سازی می‌باشد. در بین نقاط موجود در جدول فقط نقطه آخر، از ۱۰ بار اجرا، ۹ بار در جبهه پارتو حضور داشته است و دو نقطه دیگر در همه اجراها جزء جبهه پارتو هستند. این نتایج به این معنی است که الگوریتم NSGA II در شبکه Civanlar، برای مسئله تجدید آرایش همزمان با جاییابی DG نیز به خوبی عمل می‌کند. همانطور که ملاحظه می‌شود وقتی که تجدید آرایش همراه با جاییابی DG انجام می‌شود تعداد نقاط موجود در جبهه پارتو به ۳ می‌رسد که در هر ۳ نقطه، مکان بهینه DG در باس‌های ۱۰ و ۱۳ قرار دارد و تفاوت تنها در آرایش‌ها است. در حضور DG تلفات مینیمم و ENS مینیمم نسبت به حالت بدون DG به ترتیب به اندازه ۵۶/۲۹٪ و ۳۱/۲۳٪ کاهش پیدا کرده است. کمترین تلفات مربوط به آرایش با tie lines (۱۷-۱۶-۱۰) است که تلفات و ENS در آن به ترتیب برابر ۲۰۳/۷۰۵ KW و ۷۴۴۴۴ KWh/yr می‌باشد. همچنین کمترین تلفات و ENS به آرایش با tie lines (۱۷-۱۶-۱۰) مربوط می‌شود که تلفات و ENS در آن به ترتیب برابر KW ۲۲۷/۸۶ و ۷۱۶۲۹ KWh/yr می‌باشد. در اینجا نیز به دلیل برآورده شدن قیود، توابع برازندگی با توابع هدف متناظرشان برابر می‌شود.

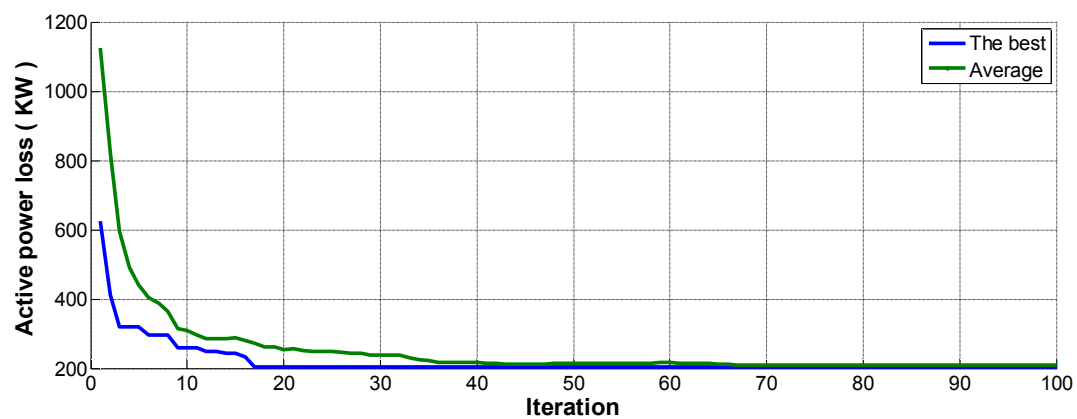
شکل‌های (۵-۱۱) تا (۵-۱۴) همانند بخش قبل نمودارهای مربوط به توابع برازندگی و هدف بهترین کروموزوم در هر تکرار و مقدار میانگین این توابع در جمعیت هر تکرار را نشان می‌دهد.



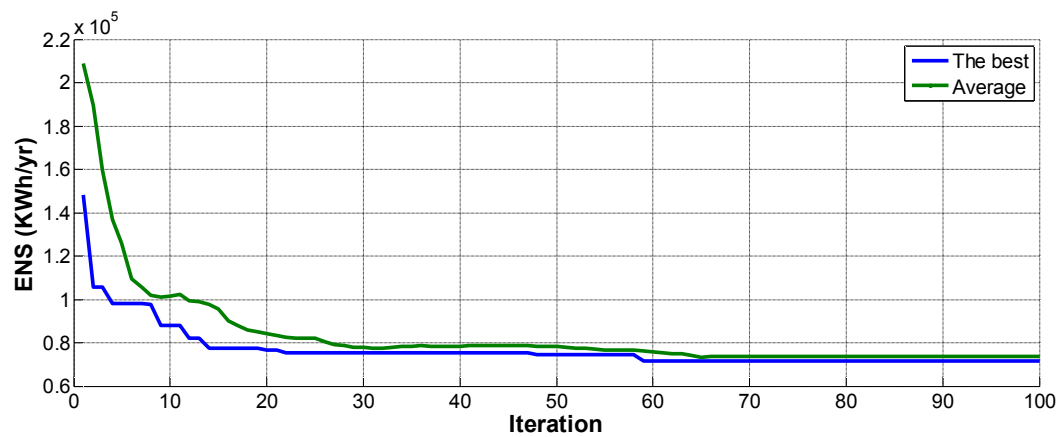
شکل (۵-۱۱): روند بهبود تابع برازندگی تلفات با حضور دو DG



شکل (۵-۱۲) : روند بهبود تابع برازندگی ENS با حضور دو DG



شکل (۵-۱۳) : روند بهبود تابع هدف تلفات با حضور دو DG

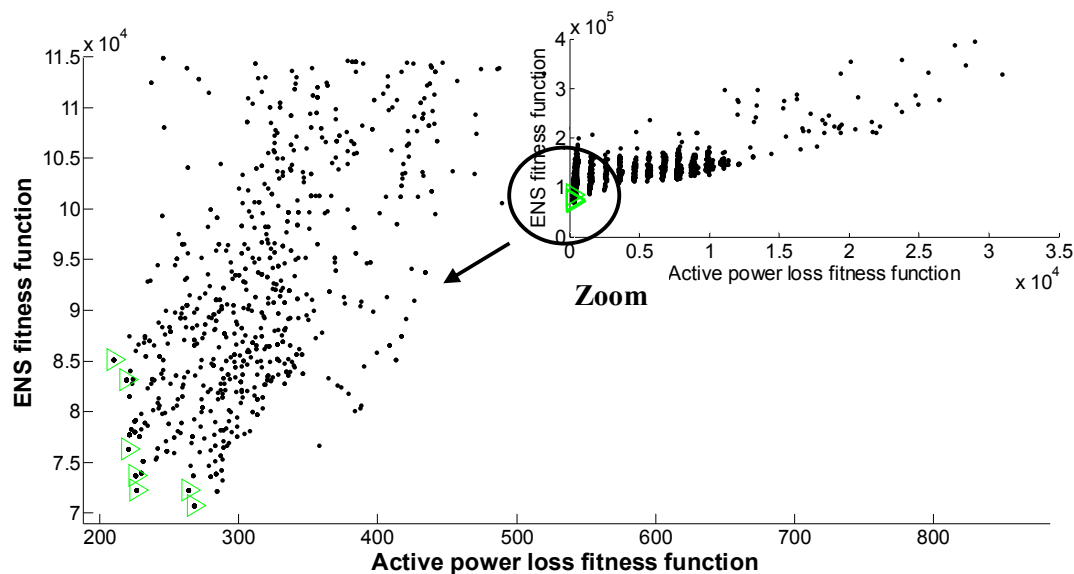


شکل (۵-۱۴) : روند بهبود تابع هدف ENS با حضور دو DG

وقتی جایابی DG به شبیه‌سازی اضافه می‌شود طبیعی است که مراحل رسیدن به بهینه فراگیر و نقاط جبهه پارتو پیچیده‌تر می‌شود به همین علت در حالتی که همزمان با تجدید آرایش، جایابی DG هم انجام می‌شود باید تعداد تکرار افزایش یابد. از شکل‌های (۵-۱۱) و (۵-۱۳) می‌توان مشاهده کرد که کمترین مقدار تلفات در تکرار ۱۸ پیدا می‌شود. در مورد ENS، طبق شکل‌های (۵-۱۲) و (۵-۱۴) کمترین مقدار در تکرار ۵۹ پیدا می‌شود.

ب- نتایج شبیه‌سازی در حضور سه DG

اکنون برای بررسی بیشتر شبکه و نشان دادن میزان اثرپذیری تلفات و ENS، شبیه‌سازی با سه DG که توان آن‌ها یکسان و برابر ۲/۵ MW است، انجام می‌شود. تعداد تکرار در این حالت به دلیل بیشتر شدن تعداد DG، ۲۰۰ است. شکل (۵-۱۵) تمام پاسخ‌های شبیه‌سازی را به همراه جبهه پارتو نشان می‌دهد. جدول (۵-۳) نیز آرایش و مکان بهینه DGها را به همراه ویژگی‌های دیگر نقاط جبهه پارتو نشان می‌دهد.

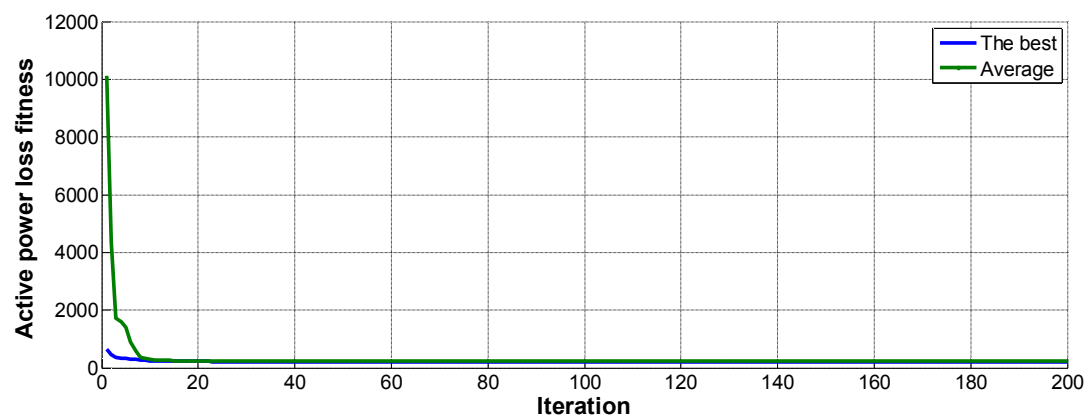


شکل (۵-۱۵): تمام پاسخ‌های شبیه‌سازی با حضور سه DG در سیستم Civanlar

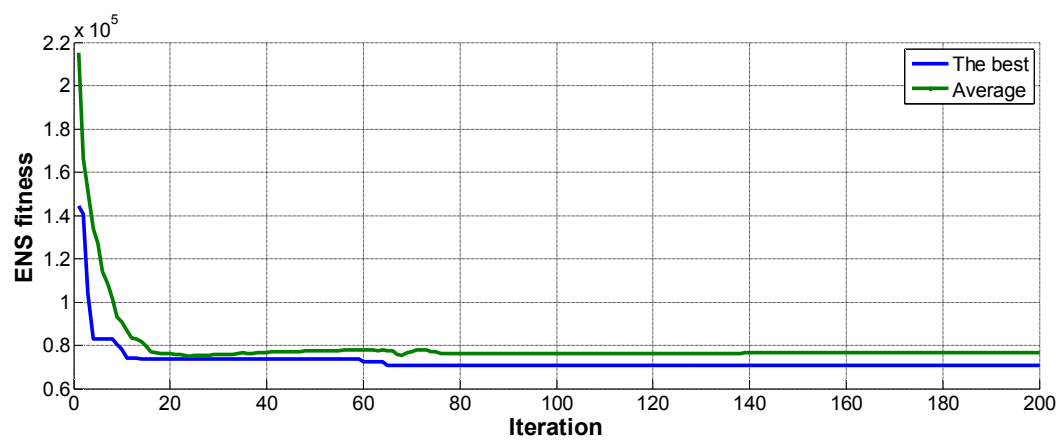
جدول (۳-۵): نتایج شبیه سازی با حضور سه DG در سیستم Civanlar

تعداد حضور در جبهه پارتو از ۱۰ بار اجرا	Tie lines	DG location	Power loss fitness function	ENS fitness function	Power loss (KW)	ENS (KWh/yr)
۶	۱۹-۱۷-۱۰	۱۳-۱۲-۱۰	۲۱۰/۳۲۰۹	۸۵۱۲۸	۲۱۰/۳۲۰۹	۸۵۱۲۸
۷	۱۱-۱۰-۷	۱۳-۱۰-۸	۲۱۹/۲۰۶۴	۸۳۱۲۸	۲۱۹/۲۰۶۴	۸۳۱۲۸
۱۰	۱۱-۱۰-۷	۱۷-۱۳-۱۰	۲۲۰/۴۰۵	۷۶۲۸۸	۲۲۰/۴۰۵	۷۶۲۸۸
۹	۱۷-۱۶-۱۰	۱۷-۱۳-۱۰	۲۲۵/۹۸۵۵	۷۳۷۴۸	۲۲۵/۹۸۵۵	۷۳۷۴۸
۱۰	۱۷-۱۰-۷	۱۷-۱۳-۱۰	۲۲۶/۱۷۹۴	۷۲۲۴۸	۲۲۶/۱۷۹۴	۷۲۲۴۸
۸	۱۶-۱۱-۱۰	۱۷-۱۳-۱۰	۲۶۳/۶۵۸۷	۷۲۲۳۸	۲۶۳/۶۵۸۷	۷۲۲۳۸
۹	۱۱-۱۰-۷	۱۷-۱۳-۶	۲۶۷/۵۱۹۶	۷۰۷۳۸	۲۶۷/۵۱۹۶	۷۰۷۳۸

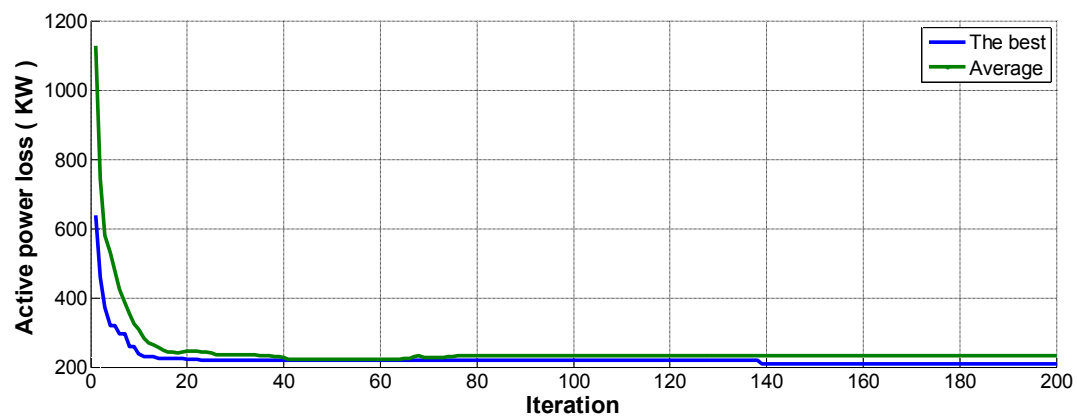
اگر چه مجموع توان DG ها در هر دو حالت برابر ۷/۵ MW است اما تفاوت در تعداد DG ها سبب شده است که تلفات مینیمم نسبت به حالتی که دو DG در شبکه وجود دارد وضعیت بدتری پیدا کند و از ۲۰۳/۷۰۵ KW به ۲۱۰/۳۲۰۹ KW برسد. اما افزایش در تعداد DG سبب شده است که ENS بهتر شود و از ۷۱۶۲۹ KWh/yr به ۷۰۷۳۸ KWh/yr برسد. همانند بخش های قبلی نمودارهای مربوط به توابع هدف و برازندگی بهترین کروموزوم در هر تکرار و مقدار میانگین این توابع در جمعیت هر تکرار، در شکل های (۱۶-۵) تا (۱۹-۵) آورده شده است.



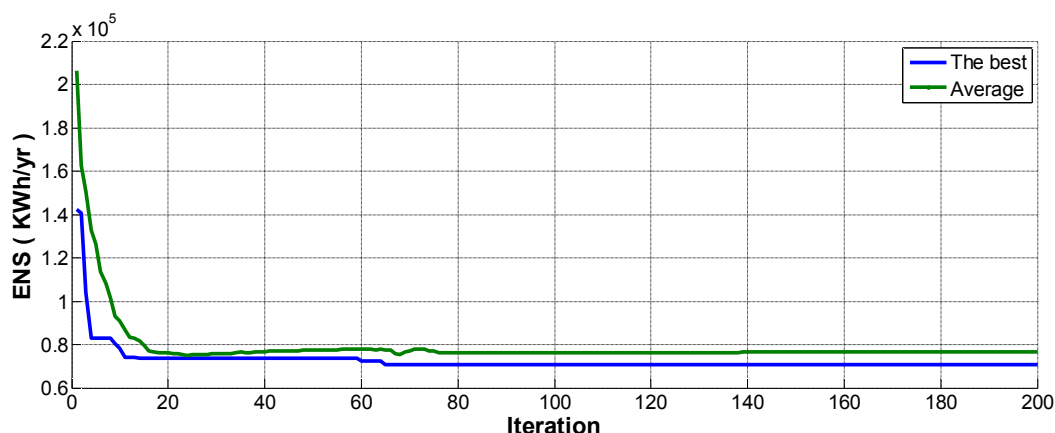
شکل (۵-۱۶) : روند بهبود تابع برازندگی تلفات با حضور سه DG



شکل (۵-۱۷) : روند بهبود تابع برازندگی ENS با حضور سه DG



شکل (۵-۱۸) : روند بهبود تابع هدف تلفات با حضور سه DG



شکل (۵-۱۹): روند بهبود تابع هدف ENS با حضور سه DG

طبق شکل (۵-۱۶) و (۵-۱۸) کمترین میزان تلفات در تکرار ۱۳۸ اتفاق می‌افتد. کمترین مقدار

ENS نیز طبق شکل‌های (۵-۱۷) و (۵-۱۹) در تکرار ۶۴ پیدا می‌شود.

۴-۵ شبیه‌سازی و نتایج سیستم دوم: Baran (۳۳ باسه)

سیستم توزیع Baran با توان ظاهری پایه ۱۰ MVA و ولتاژ نامی KV ۱۲/۶۶، از ۳۳ باس و ۳۷ خط

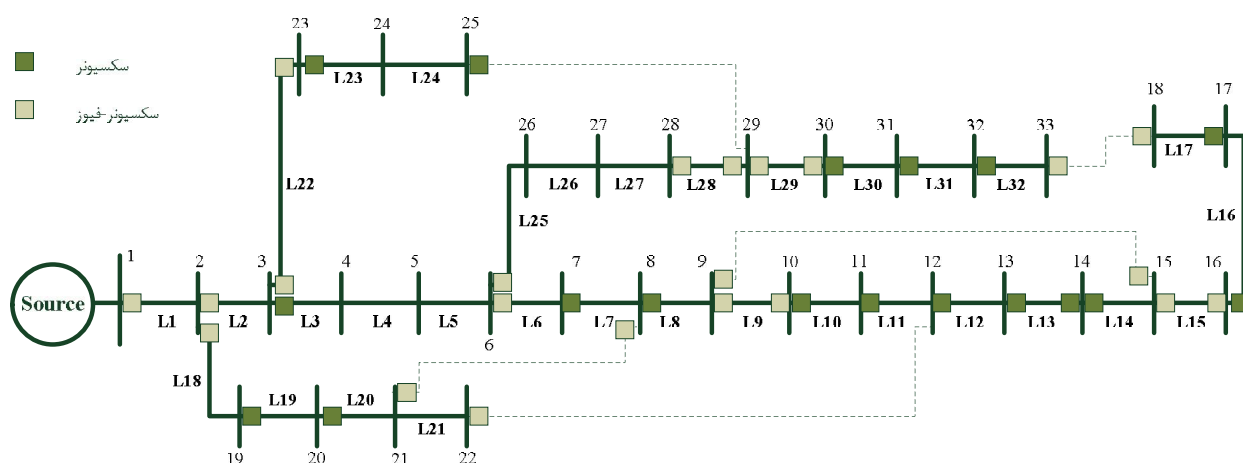
تشکیل شده است. این شبکه پنج خط ارتباطی دارد. پیکربندی سیستم به همراه مکان و نوع ادوات

حفاظتی در شکل (۵-۲۰) آورده شده است. مجموع بارهای اکتیو و راکتیو متصل به این سیستم به ترتیب

برابر ۳۷۱۵ KW و ۲۳۰۰ KVar است. در این حالت تلفات سیستم و ENS به ترتیب برابر KW

۲۰۲/۶۸۱۷ و ۶۸۶۵/۴ KWh/yr است. اطلاعات مربوط به باس‌ها و خطوط این شبکه در پیوست ۲ و

[۳۰] آورده شده است.



شکل (۵-۲۰): شبکه توزیع ۳۳ باسه

خطوط ۲۶، ۲۴، ۲۱، ۵، ۴ و ۲۷ به دلیل نداشتن هیچ تجهیز حفاظتی، نمی‌توانند در تجدید آرایش

شرکت کنند و باید همواره در حالت وصل به شبکه باشند.

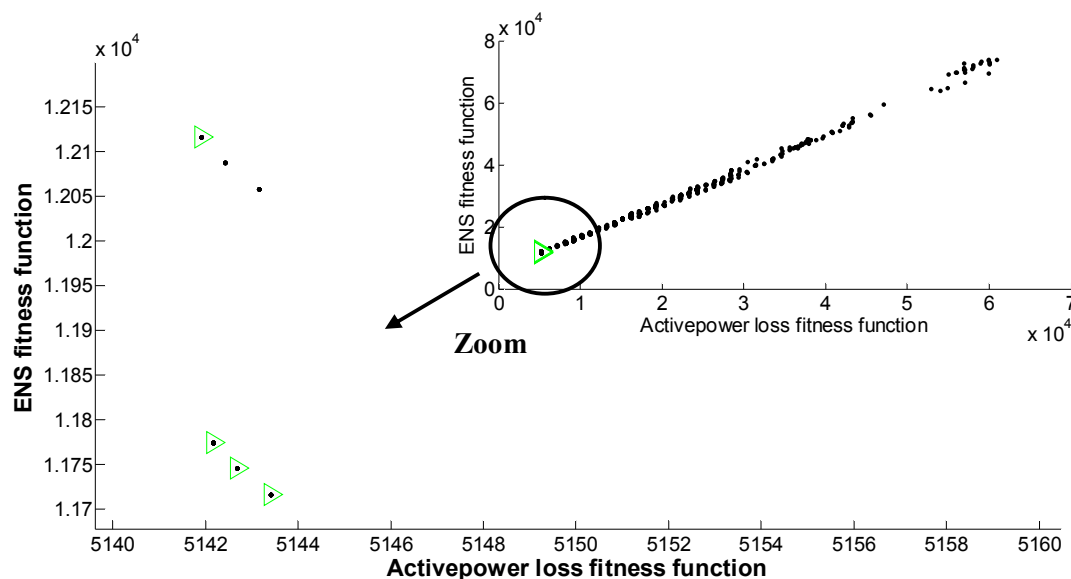
۵-۴-۱ حالت بدون حضور DG

همانند سیستم Civanlar در اینجا نیز ابتدا حالت بدون DG در شبکه بررسی می‌شود در این حالت

فقط تجدید آرایش انجام می‌شود. پارامترهای شبیه‌سازی از جمله جمعیت اولیه، P_c ، P_m و تعداد تکرار به

ترتیب برابر ۱۵، ۰/۸، ۰/۸ و ۷۵ است. شکل (۵-۲۱) تمام پاسخ‌هایی که در طول اجرای برنامه بدست

آمده است را به همراه نقاطی که در جبهه پارتو قرار دارند، نشان می‌دهد.



شکل (۵-۲۱): تمام پاسخ‌های شبیه‌سازی بدون حضور DG در سیستم Baran

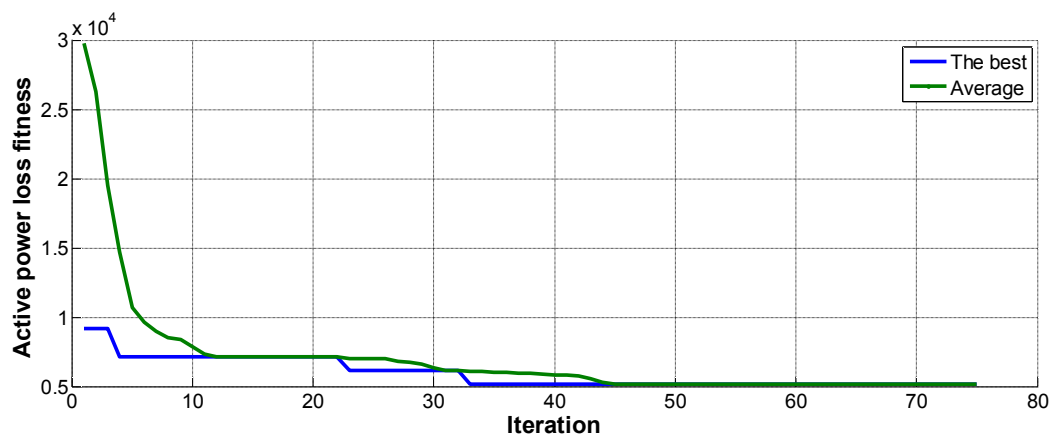
جدول (۵-۴) نتایج شبیه‌سازی را بعد از ۱۰ بار اجرا نشان می‌دهد. بر خلاف سیستم Civanlar در این سیستم نمی‌توان آرایشی را پیدا کرد که در آن تمام قیود برآورده شده باشد. بنابراین آرایش‌هایی به عنوان جواب بهینه قابل قبول هستند که ضمن داشتن کمترین تلفات و کمترین ENS، از نظر قیود نیز کمترین خروج از قید را داشته باشند. در اکثر مقالات برای سیستم ۳۳ باسه، کمترین تلفات را برابر KW ۱۳۹/۵۵ و به ازای آرایش با tie line (۷-۹-۱۴-۳۲-۳۷) در نظر گرفته‌اند در صورتی که در این حالت هفت باس مقدار ولتاژشان از محدوده ۰/۹۵ تا ۱/۰۵ پریونیت تجاوز کرده است. در روش پیشنهادی طبق جدول (۵-۴)، کمترین تلفات برابر KW ۱۴۱/۹۱۶۳ شده است. اگرچه این مقدار از KW ۱۳۹/۵۵ بیشتر است اما تنها ۵ باس ولتاژشان خارج از محدوده است. بنابراین آرایش با tie line (۷-۹-۱۴-۲۸-۳۶) بهترین آرایش از نظر حداقل تلفات است. همچنین کمترین ENS نیز به آرایش (۷-۱۱-۱۴-۳۶-۳۷) با مقدار ۶۷۱۶/۳ KWh/yr تعلق دارد. در تمام نقاطی که در جبهه پارتو سیستم باران حضور دارند، ۵ قید ولتاژی هستند که خارج از محدوده قرار دارند و از آن‌جاییکه ضریب پنالتی λ_1 برابر ۱۰۰۰ است، مقادیر Fitness function تلفات و ENS، از خود تلفات و ENS به اندازه $5 \times 1000 = 5000$ بیشتر است. تلفات

مینیمم و ENS مینیمم نسبت به حالت اولیه شبکه به ترتیب به اندازه ۲۹/۹۸٪ و ۲/۱۷٪ کاهش یافته است.

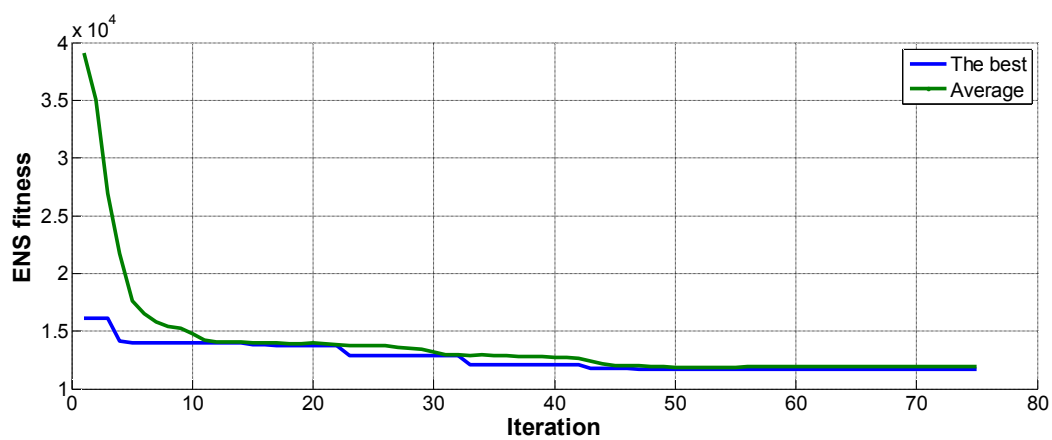
جدول (۴-۵): نتایج شبیه سازی بدون حضور DG در سیستم Baran

تعداد حضور در جبهه پارتو از ۱۰ بار اجرا	Tie lines	Power loss fitness function	ENS fitness function	Power loss (KW)	ENS (KWh/yr)
۷	۳۶-۲۸-۱۴-۹-۷	۵۱۴۱/۹	۱۲۱۱۶	۱۴۱/۹۱۶۳	۷۱۱۶/۳
۷	۳۷-۳۶-۱۴-۹-۷	۵۱۴۲/۲	۱۱۷۷۵	۱۴۲/۱۶۸۶	۶۷۷۴/۷
۷	۳۷-۳۶-۱۴-۱۰-۷	۵۱۴۲/۷	۱۱۷۴۶	۱۴۲/۶۸۱۵	۶۷۴۵/۹
۷	۳۷-۳۶-۱۴-۱۱-۷	۵۱۴۳/۴	۱۱۷۴۶	۱۴۳/۴۱۲۰	۶۷۱۶/۳

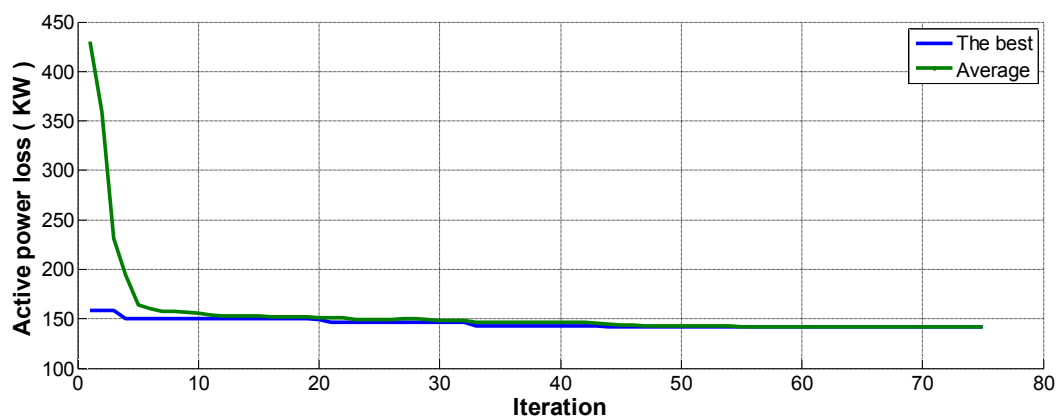
شکل‌های (۲۲-۵) تا (۲۵-۵) نمودارهای مربوط به توابع هدف و برازندگی بهترین کروموزوم در هر تکرار و مقدار میانگین این توابع در جمعیت هر تکرار را نشان می‌دهد.



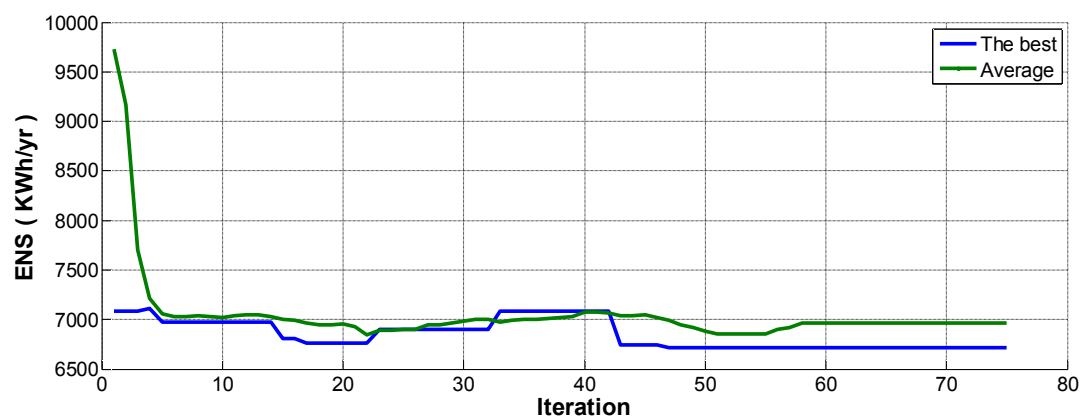
شکل (۲۲-۵): روند بهبود تابع برازندگی تلفات



شکل (۲۳-۵) : روند بهبود تابع برازندگی ENS



شکل (۲۴-۵) : روند بهبود تابع هدف تلفات



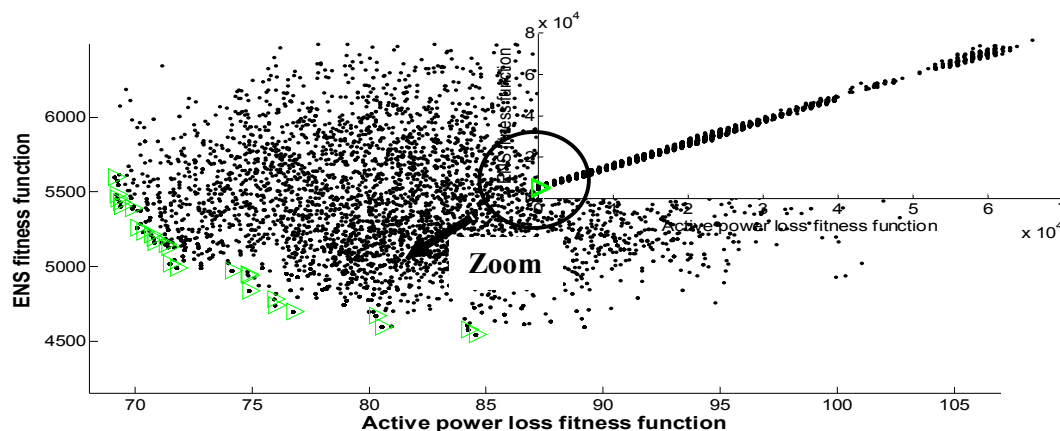
شکل (۲۵-۵) : روند بهبود تابع هدف ENS

سیستم Baran به علت بیشتر بودن تعداد خطوط، پیچیدگی بیشتری نسبت به سیستم Civanlar دارد به همین دلیل به جست‌وجوی بیشتری نیاز دارد و تعداد تکرار ۷۵ شده است. از شکل‌های (۵-۲۲) و (۵-۲۴) می‌توان مشاهده کرد که کمترین مقدار تلفات در تکرار ۴۳ پیدا می‌شود. در مورد ENS، طبق شکل‌های (۵-۲۳) و (۵-۲۵) کمترین مقدار در تکرار ۴۷ پیدا می‌شود.

۵-۴-۲ حالت با حضور DG

الف- نتایج شبیه‌سازی در حضور چهار DG

برای حل همزمان مسئله تجدید آرایش و جابجایی DG در سیستم Baran ابتدا فرض می‌شود که چهار عدد DG با قدرت ۳۵۰ KW به شبکه اضافه می‌شود. تمام پاسخ‌هایی که در طول اجرای برنامه بدست آمده است در شکل (۵-۲۶) نشان داده شده است.



شکل (۵-۲۶): تمام پاسخ‌های شبیه‌سازی با حضور چهار DG در سیستم Baran

نتایج شبیه‌سازی طبق جدول (۵-۵) است. پارامترهای به کار رفته در این حالت همانند شبیه‌سازی حالت بدون DG است با این تفاوت که تعداد تکرار در اینجا برابر ۱۰۰۰ می‌باشد. تعداد حضور نقاط در جبهه پارتو در طول ۱۰ بار اجرا، نشان‌دهنده کارایی این روش در سیستم‌های پیچیده‌تر مانند سیستم

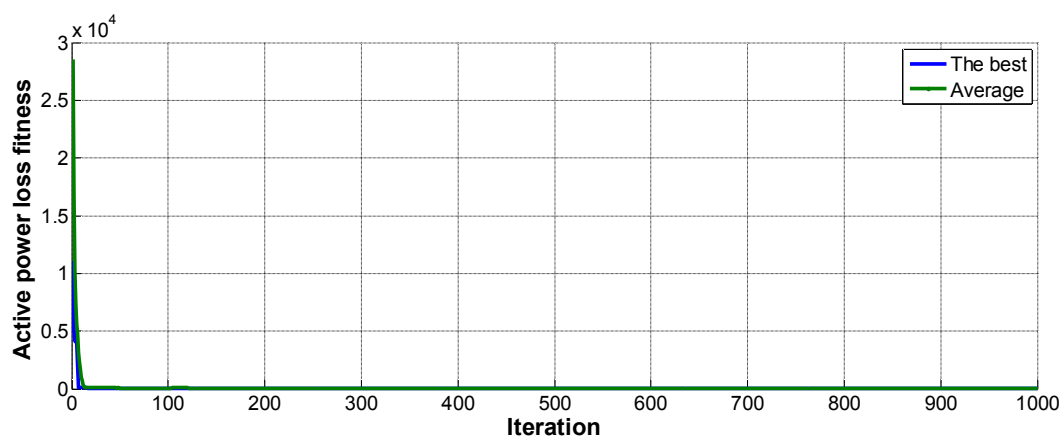
Baran است. همانطور که ملاحظه می‌شود وقتی ابعاد سیستم افزایش می‌یابد و همزمان جایابی DG هم انجام می‌شود تعداد نقاط پارتو افزایش می‌یابد. همچنین وجود DG در شبکه باعث شده است تمام قیود برآورده شوند و توابع برازندگی با توابع هدف برابر شوند. در حضور DG، تلفات مینیمم و ENS مینیمم نسبت به حالت بدون DG (فقط تجدید آرایش) به ترتیب به اندازه ۵۱/۳۲٪ و ۳۳/۱۵٪ کاهش پیدا کرده است. کمترین تلفات مربوط به آرایش (۷-۱۰-۱۴-۲۸-۳۱) و مکان DG (۱۵-۲۵-۳۰-۳۲) است که تلفات و ENS در آن به ترتیب برابر ۶۹/۰۷۰۷ KW و ۵۶۲۸ KWh/yr می‌باشد. همچنین کمترین ENS به آرایش (۱۰-۱۴-۱۷-۳۳-۳۷) و مکان DG (۲۴-۲۵-۳۱-۳۲) مربوط می‌شود که تلفات و ENS در آن به ترتیب برابر ۹۱/۲۹۱۹ KW و ۴۴۸۹/۴ KWh/yr می‌باشد.

جدول (۵-۵): نتایج شبیه سازی با حضور چهار DG در سیستم Baran

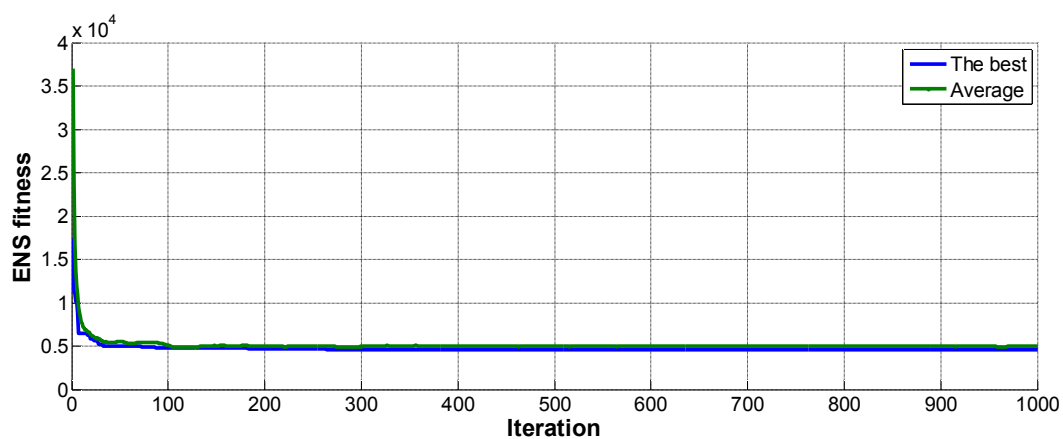
تعداد حضور در جبهه پارتو از ۱۰ بار اجرا	Tie lines	DG location	Power loss fitness function	ENS fitness function	Power loss (KW)	ENS (KWh/yr)
۱	۳۱-۲۸-۱۴-۱۰-۷	۳۲-۳۰-۲۵-۱۵	۶۹/۰۷۰۷	۵۶۲۸	۶۹/۰۷۰۷	۵۶۲۸
۲	۳۱-۲۸-۱۴-۱۱-۷	۳۲-۳۰-۲۵-۱۵	۶۹/۱۲۵۵	۵۵۹۸/۵	۶۹/۱۲۵۵	۵۵۹۸/۵
۸	۳۱-۲۸-۱۴-۱۰-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۱۵	۶۹/۱۹۲۴	۵۴۸۳/۸	۶۹/۱۹۲۴	۵۴۸۳/۸
۸	۳۱-۲۸-۱۴-۱۱-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۱۵	۶۹/۲۴۷۲	۵۴۵۴/۲	۶۹/۲۴۷۲	۵۴۵۴/۲
۹	۳۱-۲۸-۱۴-۱۰-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۱۶	۶۹/۳۴۹۸	۵۴۳۲/۵	۶۹/۳۴۹۸	۵۴۳۲/۵
۸	۳۱-۲۸-۱۴-۱۱-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۱۶	۶۹/۴۰۵۵	۵۴۰۲/۹	۶۹/۴۰۵۵	۵۴۰۲/۹
۸	۳۴-۳۱-۲۸-۱۰-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۱۴	۶۹/۸۷۱۴	۵۳۹۲/۴	۶۹/۸۷۱۴	۵۳۹۲/۴
۵	۳۴-۳۱-۲۸-۱۱-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۱۴	۶۹/۹۱۲۱	۵۳۳۰/۶	۶۹/۹۱۲۱	۵۳۳۰/۶

۸	۳۱-۲۸-۱۴-۱۰-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۸	۷۰/۰۷۶۶	۵۲۶۲	۷۰/۰۷۶۶	۵۲۶۲
۷	۳۱-۲۸-۱۴-۱۱-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۸	۷۰/۳۶۴۵	۵۲۳۲/۴	۷۰/۳۶۴۵	۵۲۳۲/۴
۸	۳۷-۳۱-۱۴-۱۱-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۱۵	۷۰/۶۶۹۱	۵۲۱۳/۲	۷۰/۶۶۹۱	۵۲۱۳/۲
۹	۳۷-۳۱-۱۴-۱۰-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۱۶	۷۰/۷۷۱۶	۵۱۹۱/۵	۷۰/۷۷۱۶	۵۱۹۱/۵
۹	۳۷-۳۱-۱۴-۱۱-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۱۶	۷۰/۸۲۷۳	۵۱۶۱/۹	۷۰/۸۲۷۳	۵۱۶۱/۹
۴	۳۷-۳۴-۳۱-۱۰-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۱۴	۷۱/۲۹۳۳	۵۱۵۱/۴	۷۱/۲۹۳۳	۵۱۵۱/۴
۵	۳۷-۳۴-۳۱-۱۱-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۱۴	۷۱/۳۳۳۹	۵۰۸۹/۶	۷۱/۳۳۳۹	۵۰۸۹/۶
۹	۳۷-۳۱-۱۴-۱۰-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۸	۷۱/۴۹۸۴	۵۰۲۱	۷۱/۴۹۸۴	۵۰۲۱
۹	۳۷-۳۱-۱۴-۱۱-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۸	۷۱/۷۸۶۴	۴۹۹۱/۴	۷۱/۷۸۶۴	۴۹۹۱/۴
۱	۳۰-۲۸-۱۴-۱۰-۷	۳۲-۳۱-۲۵-۲۴	۷۲/۳۸۹۱	۴۹۶۴/۷	۷۲/۳۸۹۱	۴۹۶۴/۷
۶	۳۳-۳۱-۲۷-۱۴-۱۱	۳۲-۲۵-۲۴-۸	۷۶/۹۷۰۳	۴۶۸۶.۵	۷۶/۹۷۰۳	۴۶۸۶.۵
۶	۳۳-۳۱-۲۷-۱۴-۱۱	۳۲-۳۱-۲۵-۲۴	۷۸/۳۱۶۶	۴۶۴۲.۸	۷۸/۳۱۶۶	۴۶۴۲.۸
۵	۳۳-۲۷-۱۶-۱۴-۱۰	۳۲-۳۱-۲۵-۲۴	۸۰/۵۴۴۸	۴۵۹۹.۵	۸۰/۵۴۴۸	۴۵۹۹.۵
۵	۳۳-۲۷-۱۶-۱۴-۱۱	۳۲-۳۱-۲۵-۲۴	۸۱/۶۱۹۲	۴۵۴۴	۸۱/۶۱۹۲	۴۵۴۴
۱	۳۷-۳۳-۱۷-۱۴-۱۰	۳۲-۳۱-۲۵-۲۴	۹۱/۲۹۱۹	۴۴۸۹.۴	۹۱/۲۹۱۹	۴۴۸۹.۴

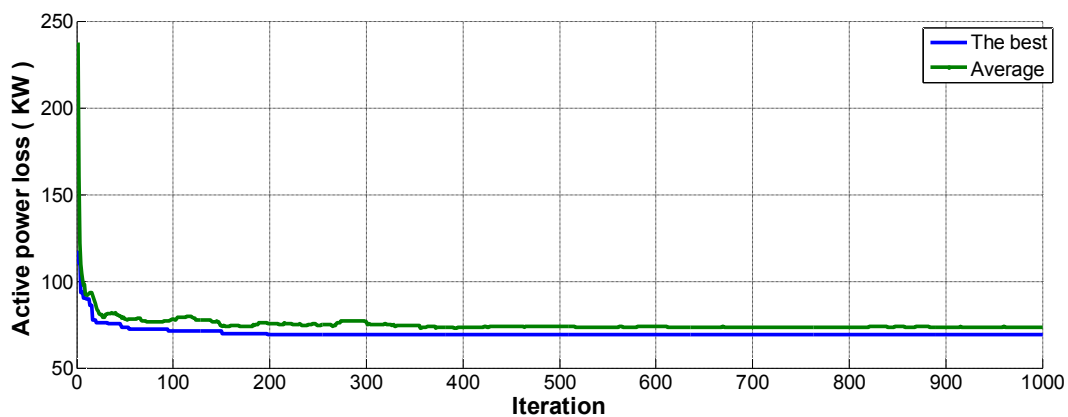
شکل‌های (۵-۲۷) تا (۵-۳۰)، همانند بخش قبل، نمودارهای مربوط به توابع برازندگی و هدف بهترین کروموزوم در هر تکرار و مقدار میانگین این توابع در جمعیت هر تکرار را نشان می‌دهد. طبق این شکل‌ها می‌توان مشاهده کرد که کمترین مقدار تلفات و کمترین مقدار ENS به ترتیب در تکرار حدود ۱۵۰ و ۳۰۰ پیدا می‌شود و تکرارهای بعدی تنها صرف پیدا کردن سایر نقاط پارتو می‌شود.



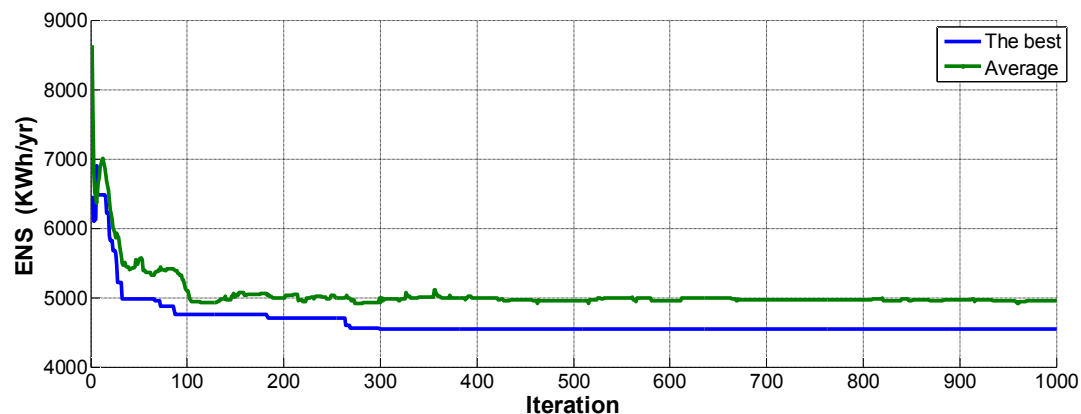
شکل (۲۷-۵) : روند بهبود تابع برازندگی تلفات با حضور چهار DG



شکل (۲۸-۵) : روند بهبود تابع برازندگی ENS با حضور چهار DG

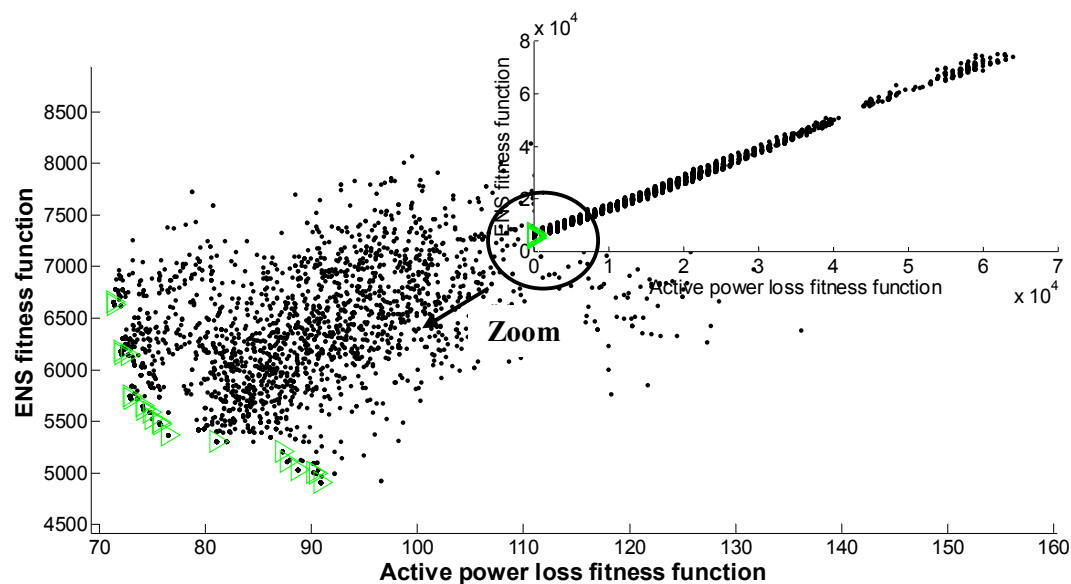


شکل (۲۹-۵) : روند بهبود تابع هدف تلفات با حضور چهار DG



شکل (۳۰-۵): روند بهبود تابع هدف ENS با حضور چهار DG

همانند شبکه Civanlar، در اینجا نیز برای بررسی بیشتر شبکه Baran و نشان دادن اینکه چگونه تعداد DG می‌تواند بر روی تلفات و ENS تأثیر گذارد، ایندفعه شبیه‌سازی با دو DG که توان هر کدام ۷۰۰ KW است، انجام می‌شود. تعداد تکرار در این حالت ۶۰۰ است و بقیه پارامترها همانند قبل است. شکل (۳۱-۵) و جدول (۶-۵) نتایج شبیه‌سازی را نشان می‌دهند.



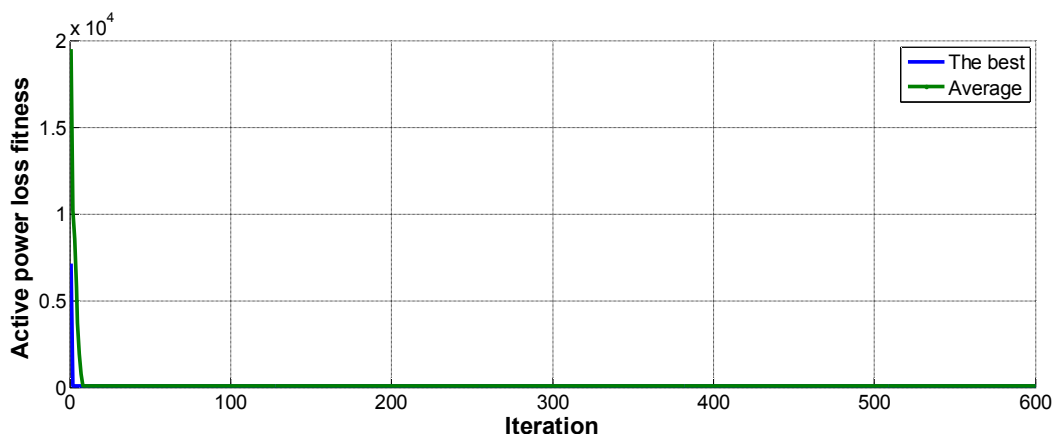
شکل (۳۱-۵): تمام پاسخ‌های شبیه‌سازی با حضور دو DG در سیستم Baran

جدول (۵-۶): نتایج شبیه سازی با حضور دو DG در سیستم Baran

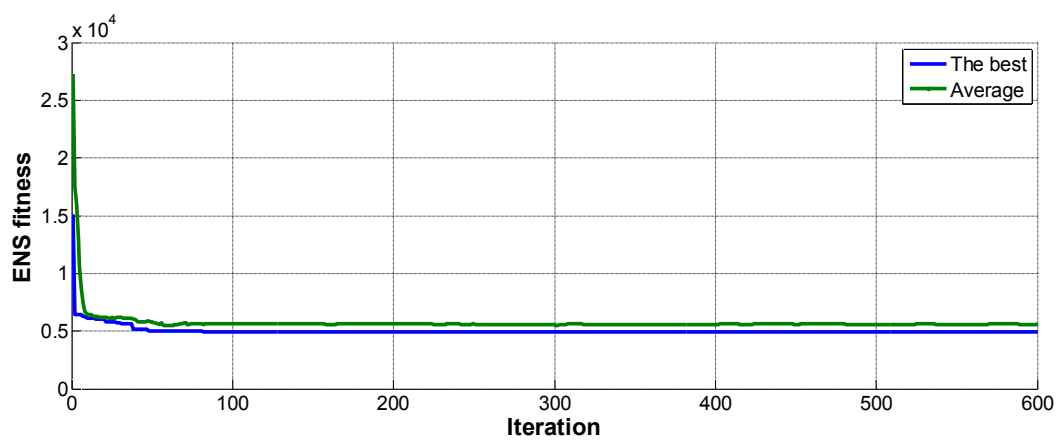
تعداد حضور در جبهه پارتواز ۱۰ بار اجرا	Tie lines	DG location	Power loss fitness function	ENS fitness function	Power loss (KW)	ENS (KWh/yr)
۵	۳۱-۲۸-۱۴-۱۰-۷	۳۰-۱۸	۷۱/۳۳۰۹	۶۶۵۹/۱	۷۱/۳۳۰۹	۶۶۵۹/۱
۱	۳۰-۲۸-۱۴-۱۰-۷	۳۲-۲۵	۷۱/۳۷۴۴	۵۹۰۲	۷۱/۳۷۴۴	۵۹۰۲
۱	۳۰-۲۸-۱۴-۱۱-۷	۳۲-۲۵	۷۱/۸۳۲۷	۵۸۷۲/۴	۷۱/۸۳۲۷	۵۸۷۲/۴
۲	۳۰-۲۷-۱۴-۱۰-۷	۳۲-۲۵	۷۲/۱۶۶۸	۵۸۰۳	۷۲/۱۶۶۸	۵۸۰۳
۲	۳۰-۲۷-۱۴-۱۱-۷	۳۲-۲۵	۷۲/۶۲۵۱	۵۷۷۳/۴	۷۲/۶۲۵۱	۵۷۷۳/۴
۵	۳۱-۲۸-۱۴-۱۰-۷	۳۲-۲۵	۷۲/۸۴۱۲	۵۷۴۷	۷۲/۸۴۱۲	۵۷۴۷
۵	۳۱-۲۸-۱۴-۱۱-۷	۳۲-۲۵	۷۲/۹۱۱۸	۵۷۱۷/۵	۷۲/۹۱۱۸	۵۷۱۷/۵
۱	۳۳-۳۰-۲۷-۱۴-۱۰	۳۲-۲۵	۷۳/۲۱۴۳	۵۴۹۵	۷۳/۲۱۴۳	۵۴۹۵
۲	۳۳-۳۰-۲۷-۱۴-۱۱	۳۲-۲۵	۷۴/۴۲۷۴	۵۴۳۹/۶	۷۴/۴۲۷۴	۵۴۳۹/۶
۴	۳۳-۳۱-۲۷-۱۴-۱۰	۳۲-۲۵	۷۵/۷۲۰۹	۵۴۲۶/۳	۷۵/۷۲۰۹	۵۴۲۶/۳
۵	۳۳-۳۱-۲۷-۱۴-۱۱	۳۲-۲۵	۷۶/۴۹۵۱	۵۳۷۰/۸	۷۶/۴۹۵۱	۵۳۷۰/۸
۲	۳۳-۲۷-۱۶-۱۴-۱۰	۳۲-۲۵	۷۹/۹۸۱۱	۵۳۵۷/۵	۷۹/۹۸۱۱	۵۳۵۷/۵
۵	۳۳-۲۷-۱۶-۱۴-۱۱	۳۲-۲۵	۸۱/۰۵۵	۵۳۰۲/۱	۸۱/۰۵۵	۵۳۰۲/۱
۲	۳۷-۱۶-۱۴-۱۰-۷	۳۲-۲۵	۸۴/۸۲۱۶	۵۲۸۸/۵	۸۴/۸۲۱۶	۵۲۸۸/۵
۲	۳۷-۱۶-۱۴-۱۱-۷	۲۵-۲۴	۸۵/۱۴۸۸	۵۲۵۸/۹	۸۵/۱۴۸۸	۵۲۵۸/۹
۲	۳۶-۳۳-۲۸-۱۴-۹	۲۵-۲۴	۸۷/۲۵۶۴	۵۲۱۲/۲	۸۷/۲۵۶۴	۵۲۱۲/۲

۳	۳۶-۳۳-۲۷-۱۴-۹	۲۵-۲۴	۸۷/۶۷۰۷	۵۱۱۳/۲	۸۷/۶۷۰۷	۵۱۱۳/۲
۳	۳۳-۲۷-۱۷-۱۴-۹	۲۵-۲۴	۸۸/۷۱۷	۵۰۲۹	۸۸/۷۱۷	۵۰۲۹
۱	۳۳-۳۲-۲۷-۱۴-۱۰	۲۵-۲۴	۸۹/۱۶۹۲	۵۰۲۸	۸۹/۱۶۹۲	۵۰۲۸
۴	۳۳-۲۷-۱۷-۱۴-۱۰	۲۵-۲۴	۸۹/۶۰۲۴	۴۹۶۵/۷	۸۹/۶۰۲۴	۴۹۶۵/۷
۶	۳۳-۲۷-۱۷-۱۴-۱۱	۲۵-۲۴	۹۰/۸۵۶۶	۴۹۱۰/۳	۹۰/۸۵۶۶	۴۹۱۰/۳

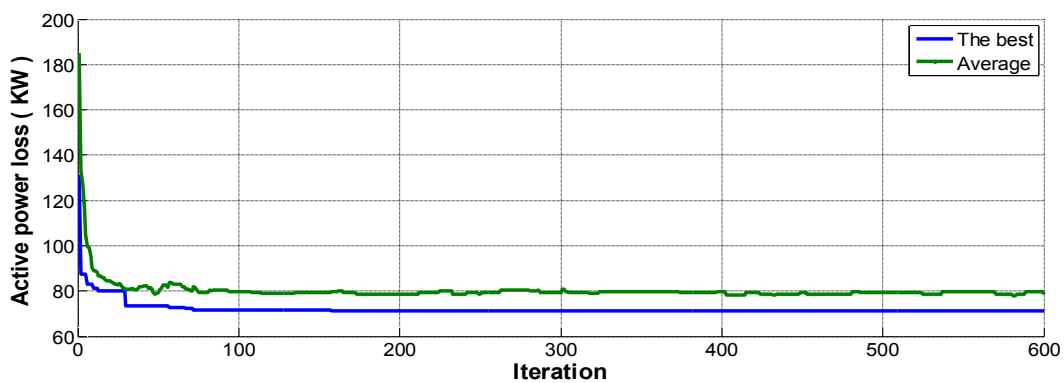
بر اساس جدول (۵-۶)، ۲۱ نقطه در جبهه پارتو حضور دارند و به علت برآورده شدن قیود، در تمام این نقاط توابع برازندگی و هدف با هم برابر شده‌اند. همانند بخش قبل مجموع توان DG ها برابر KW ۱۴۰۰ است اما کم شدن تعداد DG ها سبب شده است که تلفات مینیمم نسبت به حالتی که DG ۴ در شبکه وجود دارد وضعیت بدتری پیدا کند و از KW ۶۹/۰۷۰۷ به KW ۷۱/۳۳۰۹ برسد. همچنین کاهش در تعداد DG، ENS را نیز بدتر کرده است و از ۴۴۸۹/۴ KWh/yr به ۴۹۱۰/۳ KWh/yr رسیده است. نمودارهای مربوط به توابع هدف و برازندگی در شکل‌های (۵-۱۶) تا (۵-۱۹) آورده شده است که بر اساس آن تلفات مینیمم و ENS مینیمم به ترتیب در حدود تکرارهای ۷۰ و ۸۰ پیدا می‌شوند.



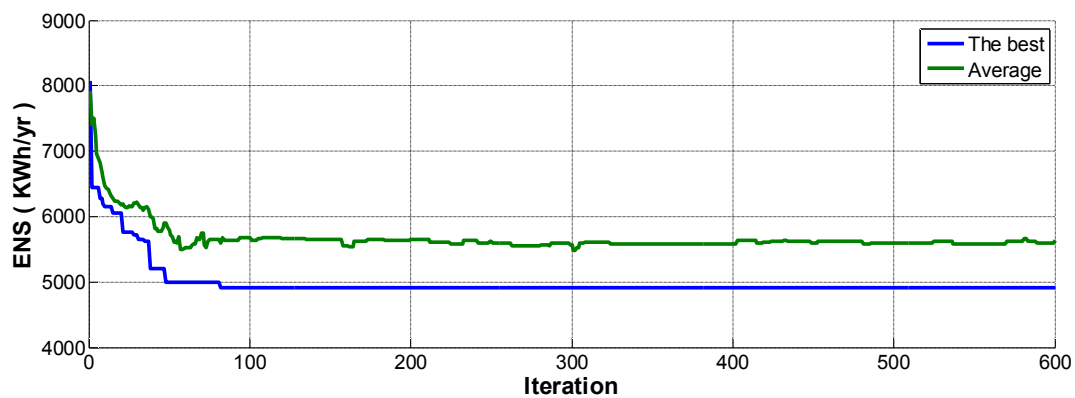
شکل (۵-۳۲): روند بهبود تابع برازندگی تلفات با حضور دو DG



شکل (۳۳-۵) : روند بهبود تابع برازندگی ENS با حضور دو DG



شکل (۳۴-۵) : روند بهبود تابع هدف تلفات با حضور دو DG



شکل (۳۵-۵) : روند بهبود تابع هدف ENS با حضور دو DG

۵-۵ تحلیل نتایج

روش ارائه شده در این پایان نامه برای تجدید آرایش شبکه توزیع در حضور DG و همزمان با جابجایی آن‌ها بررسی گردیده است. برای آن که توانایی روش ارائه شده بیان گردد، روش ارائه شده بر روی دو سیستم تست نمونه اعمال گردید در اعمال روش پیشنهادی ابتدا سیستم فاقد DG در نظر گرفته شد و سپس هنگامی که سیستم با DG بررسی شد دو حالت مختلف برای تعداد DG ها در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج شبیه سازی نکات زیر به دست می آیند:

۱. هنگامی که در شبکه DG وجود دارد تمامی قیود برآورده می شوند.
۲. تحلیل ها نشان می دهد که توپولوژی هایی دارای ENS کمتری هستند که در آن ها DG ها در باس های با بار الکتریکی مصرفی بالا نصب شده است.
۳. در حضور DG به دلیل اینکه حالات بیشتری برای توپولوژی شبکه رخ می رهد تعداد نقاط پارتو بیشتر می شود. بطور کلی تعداد نقاط پارتو به نوع سیستم، وجود یا عدم وجود DG، تعداد مشترکین باس ها و تعداد DG بستگی دارد.
۴. از آنجائیکه نقاط پارتو هیچکدام بطور مطلق بر هم برتری ندارند و همگی نسبت به هم از یک جنبه برتر و از جنبه دیگر بدتر هستند، هر کدام از آن ها به تنهایی می توانند جوابی برای حل مسئله بهینه سازی بشمار رود. بقیه نقاطی که در جبهه پارتو حضور ندارند، حداقل یکبار مغلوب شده اند. اگر قرار باشد از بین توپولوژی های موجود در جبهه پارتو یک توپولوژی به عنوان جواب نهایی انتخاب شود، می توان از دو روش زیر استفاده شود:

- روش اول به اینصورت است که از قبل روی محور محدوده‌ای به عنوان محدوده مورد نظر انتخاب شود و بعد از بدست آمدن نقاط پارتو فرانت، توپولوژی که در آن محدوده قرار دارد به عنوان جواب نهایی انتخاب شود.
 - روش دوم به اینصورت است که توپولوژی که در وسط جبهه قرار دارد به عنوان جواب نهایی انتخاب شود. مثلاً در سیستم Baran با دو DG، توپولوژی (۱۱-۱۴-۲۷-۳۱-۳۳) که مکان DGهای آن در باس‌های ۲۵ و ۳۲ است می‌تواند به عنوان جواب نهایی انتخاب شود.
۵. از نظر عملی نتایج ارائه شده بسیار مهم هستند و هنگامی که قرار است تعدادی DG وارد شبکه توزیع شوند می‌توانند قابل استفاده باشند و این امکان را به مهندسان برنامه‌ریزی و بهره‌برداری می‌دهد که بهترین توپولوژی را انتخاب کنند.
۶. الگوریتم NSGA II همانند همه الگوریتم‌های هوشمند فراابتکاری، نمی‌تواند به طور کامل تضمین کند که تمامی نقاط بهینه پیدا شده‌اند، اما نتایج ارائه شده در این مسئله، طی ۱۰ بار اجرا قابلیت اطمینان پاسخ‌ها را بالا می‌برد و می‌توان ادعا کرد که تمامی نقاط موجود در جبهه پارتو پیدا شده‌اند.

۵-۶ خلاصه فصل

در این فصل تمام موضوعات مربوط به شبیه‌سازی مسئله تجدید آرایش از جمله توضیح الگوریتم NSGA II و کروموزوم پیشنهادی، توابع برازندگی، عملگر جهش و عملگر برش تشریح شد. سپس الگوریتم بر روی دو سیستم تست نمونه Baran و Civanlar که در بسیاری از مقالات از آن‌ها استفاده می‌شود پیاده‌سازی شد و نتایج در دو حالت بدون DG (فقط تجدید آرایش) و در حضور DG (تجدید آرایش و جابجایی به طور همزمان) آورده شده است. نتایج ارائه شده، گواهی بر صحت شبیه‌سازی مسئله و پیاده‌سازی الگوریتم است. همچنین برای بررسی بیشتر تلفات و ENS شبکه‌های مورد مطالعه، تعداد DG‌ها تغییر داده شد و شبیه‌سازی دوباره انجام شد. نتایج شبیه‌سازی در هر دو سیستم تست، همواره آرایش‌هایی را ارائه می‌کردند که تلفات و ENS آن‌ها نسبت به شبکه اولیه کمتر است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه گیری

با توجه به رشد روزافزون استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، بررسی و تحقیق در مورد این منابع و اثراتی که بر شبکه توزیع می‌گذارند، به یکی از دغدغه‌های اصلی بهره‌برداران و برنامه‌ریزان شبکه‌های توزیع منجر شده است. وقتی DG وارد شبکه توزیع می‌شود نحوه بارگذاری خطوط و ولتاژ باس‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرند و در نتیجه تلفات و قابلیت اطمینان شبکه نیز تغییر می‌کند. اما این موضوع بسته به آرایش شبکه توزیع و مکان DG ممکن است شرایط را بهتر یا بدتر کند. مرور بر پژوهش‌های گذشته نشان داد که تاکنون در مورد مسئله تجدید آرایش همزمان با جابجایی منابع تولید پراکنده با هدف بهبود قابلیت اطمینان و کاهش تلفات بررسی صورت نگرفته است. از طرفی این مسئله یکی از موضوعاتی است که به شدت در اقتصاد و رضایتمندی مشتریان تأثیر دارد. همه مطالب فوق انگیزه اصلی برای انجام این پایان‌نامه شده است. در واقع دلیل بررسی همزمان تجدید آرایش و جابجایی DG این است که مکان بهینه DG‌ها به آرایش سیستم بستگی دارد و آرایش بهینه شبکه توزیع شعاعی نیز به مکان DG‌ها بستگی دارد در نتیجه برای بهره‌برداری بهینه از شبکه‌های توزیع این تجدید آرایش و جابجایی باید بطور همزمان بررسی شوند.

برای انجام و حل مسئله ابتدا باید بر روی برخی موضوعات که نیازمندی‌های حل مسئله بشمار می‌روند، تحقیق شود. پخش بار توزیع یکی از الزامات مسئله تجدید آرایش است. در مسئله تجدید آرایش به دلیل بررسی کردن آرایش‌های مختلف، پخش بارها باید بگونه‌ای گفته شود که عمومیت داشته باشد یعنی برای هر آرایشی از شبکه قابل اجرا باشد. لذا ابتدا در فصل سوم روشی برای کلی کردن پخش بارهای توزیع گفته شد. با استفاده از پخش بار، قیود مسئله بهینه‌سازی و تلفات محاسبه می‌شود.

از آنجاییکه مدل‌سازی ریاضی این مسئله بهینه‌سازی کار بسیار دشواری است، ناچاراً به سمت الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند رفته‌ایم. الگوریتم مورد استفاده در این پایان‌نامه NSGA II است که یکی از الگوریتم‌های بسیار کارآمد و مناسب در پیدا کردن جواب بهینه در مسائل چندهدفه و بخصوص تجدید آرایش است و به جای یک جواب چندین جواب در قالب جبهه پارتو ارائه می‌کند.

از شاخص ENS برای بهبود قابلیت اطمینان استفاده شده است. دلیل استفاده از این شاخص ارتباط مستقیم این شاخص با اقتصاد و رضایتمندی مشتریان است. نحوه محاسبه این شاخص در حضور DG بطور کامل در فصل چهارم توضیح داده شده است. این نحوه محاسبه نیز به طور عمومی گفته شده است زیرا ENS نیز باید برای هر آرایشی محاسبه شود.

در این پایان‌نامه نحوه شبیه‌سازی مسئله تجدید آرایش همزمان با جاییابی DG به روش الگوریتم NSGA II ارائه شد و در نهایت بر روی دو سیستم تست نمونه به نام‌های Civanlar (۱۷ باسه) و Baran (۳۳ باسه) پیاده‌سازی شده است و نتایج آن ارائه شده است. نتایج حاصل، بهترین آرایش‌ها را در قالب جبهه پارتو نشان می‌دهند. این روش حل مسئله، اجازه می‌دهد تا توپولوژی شبکه تحت تقاضای بار مشخص و قیود مورد نظر، بصورت کمی دو معیار مهم شبکه‌های توزیع را بررسی کند. این قابلیت برای برنامه‌ریزان سیستم می‌تواند کاملاً مفید باشد تا تلفات و قابلیت سیستم را بهبود بخشند.

۶-۲ پیشنهادات

بر روی موضوع پروژه می‌توان تحقیقات بیشتری انجام داد لذا پیشنهاداتی برای انجام پژوهش‌های جدید ارائه می‌شود:

۱. برای سنجش توانمندی الگوریتم‌های دیگر می‌توان این موضوع را با الگوریتم‌های هوشمند فراابتکاری دیگر نیز انجام داد تا بهترین روش برای حل مسئله مشخص شود.
۲. در این پایان‌نامه ظرفیت DGها از قبل تعیین شده است. برای عملکرد بهینه شبکه می‌توان توان DGها را هم در مسئله بهینه‌سازی جزء مجهولات قرار داد تا با تعیین آرایش مناسب و همین‌طور اندازه توان و مکان هر DG، از شبکه بصورت بهتری بهره‌برداری شود.
۳. مفاهیم پایه ارائه شده در این پایان‌نامه می‌تواند بسط داده شود مثلاً شاخص‌های دیگر قابلیت اطمینان مورد ارزیابی قرار گیرد. بطور کل اهداف دیگر بهره‌برداری مانند بهبود پروفیل ولتاژ و امثال این‌ها که در عمل باید بررسی شوند را می‌توان جزء اهداف این مسئله بهینه‌سازی قرار داد.
۴. در این پایان‌نامه به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان و بدست آوردن ENS از روش تحلیلی استفاده شده است. می‌توان از روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده کرد.
۵. چنانچه به جای سیستم‌های Baran و Civanlar از شبکه‌های توزیعی که در ایران وجود دارد استفاده شود، علاوه بر داشتن جنبه پژوهشی می‌تواند باعث بهره‌برداری بهتر شبکه‌های کشور نیز شود.

مراجع

- [1] S. S. Williamson, A. Emadi, and M. Shahidehpour, "Distributed Fuel Cell Generation in Restructured Power Systems", in Power Engineering Society General Meeting, 2004, IEEE Volume, Issue, 10-10 June 2004 Page(s): 2079 - 2084 Vol.2.
- [2] Thomas Ackermann, Goran Anderson and Lenart Soder, Distributed Generation: A Definition, Electric Power Systems Research, Vol. 57, 2001, pp. 195-204.
- [۳] سعید کمالی نیا، "بهبود ساختار شبکه برق با استفاده از قابلیت های تولید پراکنده و امکان سنجی نصب این منابع در ایران"، هشتمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق، ۱۳۸۴.
- [۴] شرکت توانیر، "دستورالعمل اتصال مولدهای مقیاس کوچک به شبکه توزیع نیروی برق"، ویرایش اول، خرداد، ۱۳۸۸.
- [5] Stavros A. Papathanassiou, A technical evaluation framework for the connection of DG to the distribution network., Electric power systems research. 77, pp. 24.34, 2007
- [6] T. M. De Britto, T. M., Morais, D. R., Marin, M. A., Rolim, J. G., Zurn, H. H., and Buendgens, R. F., Distributed generation impacts on the coordination of protection systems in distribution networks., in Proc. IEEE Transmission and Distribution Latin America, Sao Paulo, Brazil, pp. 1-6, Nov. 2004
- [7] "SRP Interconnection Guidelines for Distributed Generators", December 2000.
- [8] "Interconnection Requirements for Distributed Generation", Arizona Public Service Company, October 2009, Rev 6.2(2009).
- [9] Connection Considerations for Distributed Generation., Western Power Distribution Company Serving the South West and Wales, Version 3.0, November 2009.
- [10] Impediments to the Uptake of Renewable and Distributed Generation . Discussion Paper and Draft National Code of Practice for Embedded Generation., 31 March 2006.
- [۱۱] شرکت توانیر، "دستورالعمل اتصال مولدهای مقیاس کوچک به شبکه توزیع نیروی برق"، ویرایش اول، خردادماه ۱۳۸۸.
- [۱۲] مرتضی حیدری، "جایابی بهینه واحدهای تولید پراکنده بر اساس معیارهای قابلیت اطمینان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۰.
- [13] Billinton R. and Allan R.N., Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques, Plenum Publishing, New York, 1984.
- [14] Billinton R. and Allan R.N., Reliability Evaluation of Power Systems: 2nd Edition, Plenum Publishing, New York, 1996.
- [۱۵] احسان مبینی، "تجدید آرایش شبکه توزیع برای کاهش تلفات با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران (صنعتی نوشیروانی)، ۱۳۸۸.
- [16] Rabih A. Jabr, Ravindra Singh and Bikash C. Pal, Minimum Loss Network Reconfiguration Using Mixed-Integer Convex Programming, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 27, NO. 2, pp. 1106-1115, MAY 2012.
- [۱۷] محمدحسن همت پور، "بهبود پایداری ولتاژ در سیستم های توزیع در حضور منابع تولید پراکنده و با بهره گیری از بازآرایی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۹۰.
- [18] A. Merlin and H. Back, "Search for a minimal-loss operating spanning tree configuration in urban power distribution systems," in *Proc. 5th Power Syst. Comp. Conf.*, Cambridge, U.K., Sep. 1-5, 1975.

- [19] S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, and S. S. H. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 3, no. 3, pp. 1217–1223, Jul. 1988.
- [20] M. E. Baran, F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *IEEE Trans. Power Delivery*, 4(2), 1989, pp. 1401–1407.
- [21] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 4, no. 2, pp. 1492–1498, Apr. 1989.
- [22] F. V. Gomes, S. Carneiro, Jr., J. L. R. Pereira, M. P. Vinagre, P. A. N. Garcia, and L. R. de Araujo, "A new distribution system reconfiguration approach using optimum power flow and sensitivity analysis for loss reduction," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 4, pp. 1616–1623, Nov. 2006.
- [23] Ahmed R. Abul'Wafa, A new heuristic approach for optimal reconfiguration in distribution systems, Elsevier, *Electric Power Systems Research*, pp. 282–289, 2011.
- [24] H. P. Schmidt, N. Ida, N. Kagan, and J. C. Guaraldo, "Fast reconfiguration of distribution systems considering loss minimization," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 3, pp. 1311–1319, Aug. 2005.
- [25] G. K. V. Raju and P. R. Bijwe, "An efficient algorithm for minimum loss reconfiguration of distribution system based on sensitivity and heuristics," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 23, no. 3, pp. 1280–1287, Aug. 2008.
- [26] Nara K, Shiose A, Kitagawa M, Ishibara T. Implementation of genetic algorithm for distribution systems loss minimum reconfiguration. *IEEE Trans Power Syst* 1992;7(3):1044–51.
- [27] Abdullah M. Alshehri. "Optimal Reconfiguration of Distribution Networks Using Ant Colony Method", Master thesis, King Saud University College of Engineering Electrical Engineering Department, 2007.
- [28] Abdelaziz AY, Mohammed FM, Mekhamer SF, Badr MAL. Distribution system reconfiguration using a modified tabu search. *Electr Power Syst Res* 2010;80(8):943–53.
- [29] J. Olamaei, T. Niknam and G. Gharehpetian, "Application of particle swarm optimization for distribution feeder reconfiguration considering distributed generators", *Applied Mathematics and Computation*, 575–586, 2008.
- [30] J.E. Mendoza¹, M.E. Lopez^{1,2}, C.A. Coello Coello³, E.A. Lopez⁴, Microgenetic multiobjective reconfiguration algorithm considering power losses and reliability indices for medium voltage distribution network, *IET Gener. Transm. Distrib.*, 2009, Vol. 3, Iss. 9, pp. 825–840.
- [31] J. Olamaei, A. Arefi, A. H. Mazinan, T. Niknam, "A hybrid evolutionary algorithm based on ACO and SA for distribution feeder reconfiguration", *IEEE*, 2010, 265–269.
- [32] Lucia C, Borges T, Ferreira V. Multistage expansion planning for active distribution networks under demand and distributed generation. *Int J Electr Power Energy Syst* 2012;36(1):107–16.
- [33] Taher Niknam, Abdollah Kavousi Fard, Alireza Seifi, Distribution feeder reconfiguration considering fuel cell/wind/photovoltaic power Plants, Elsevier, *Renewable Energy*, pp. 213–225, 2012.
- [34] Yuan-Kang Wu, Ching-Yin Lee, Le-Chang Liu, Shao-Hong Tsai, "Study of Reconfiguration for the Distribution System with Distributed Generators", *IEEE Transactions on Power Delivery*. Vol. 25, 1678 – 85, 2010.

- [35] N. Rugthaicharoencheep and S. Sirisumrannukul, "Feeder reconfiguration with dispatchable distributed generators in distribution system by tabu search", Universities Power Engineering Conf. (UPEC), 1 – 5, 2010.
- [36] E. Romero-Ramos, A. G. Expósito, J. R. Santos, and F. L. Iborra, "Path-based distribution network modeling: Application to reconfiguration for loss reduction," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 556–564, May 2005.
- [37] H. M. Khodr, J. Martínez-Crespo, M. A. Matos, and J. Pereira, "Distribution systems reconfiguration based on OPF using Benders decomposition," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 24, no. 4, pp. 2166–2176, Oct. 2009.
- [38] Chang, G. W., Chu, S. Y., and Wang, H. L. An Improved Backward/Forward Sweep Load Flow Algorithm for Radial Distribution Systems, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 22(2) , 882-884. 2007.
- [۳۹] الهه مشهور، سید مسعود مقدس تفرشی، " پخش بار شبکه توزیع با حضور تولید پراکنده"، چهاردهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، کرمان، ۱۳۸۸.
- [40] Chakraborty, D., Sharma, C. P., Das, B., Abhishek, K., and Malakar, T. Distribution System Load Flow Solution Using Genetic Algorithm, Third International Conference on Power Systems, Kharagpur, INDIA December, 27-29. 2009.
- [41] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan, "A Fast and Elitist Algorithm: NSGA-II", *IEEE Trans Evolutionary Multiobjective Genetic Computation*, Vol. 6, No. 2, pp. 182-197, 2002.
- [۴۲] سید حسن میرحسینی، سید مهدی حسینی، مجید گندمکار، مهدی قنبری، "بازآرایی شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه ۲ (NSGA II)، اولین کنفرانس ملی ایده‌های نو در مهندسی برق، آذر ۱۳۹۱.
- [43] J. Torres, J.L. Guardado, F. Rivas-Davalos, S. Maximov, Enrique Melgoza, "A genetic algorithm based on the edge window decoder technique to optimize power distribution systems reconfiguration" *Elsevier, Electrical Power and Energy Systems* , pp. 28–34, 2013.

Abstract

The advancement of science, economic problems, environmental pollution and diminishing of fossil fuels are factors that has led human to use of the renewable energies and distributed generation resources (DG). Thus, the experts have tried to study the behavior of power systems in the presence of DGs, because the inappropriate use of these resources in power network not only will not have any advantage, but also it can have negative impact on distribution systems and electricity quality of the customers. A distribution networks is designed as a looped system, but it is operated as a radial system. The connection of DGs to distribution systems can affect greatly on current and line power and voltage magnitude of the customers.

The reliability of distribution systems is one of the aims that have attracted the attention of many researchers because the reliability improvement can be economic for distribution companies. Also, it brings the customers satisfaction. System configuration and DG location are the factors that improve reliability and also reduce power losses in distribution networks. System configuration and DG location are related to each other. it means that for different configurations of distribution system, different locations for DGs are to be find and vice versa.

Therefore, the distribution planners and operators should consider the impact of configuration and DGs location simultaneously to improve reliability and power loss reduction

In this thesis firstly, it is tried to find a method for reliability calculation in the presence of DG in distribution systems is described. Then, by using reconfiguration and DG allocation simultaneously, one of the reliability indices, i.e. ENS (Energy Not Supplied) and power loss reduction are improved. Since, the reliability and loss reduction are related inversely, a multi objective optimization algorithm is needed to improve these two factors simultaneously. The used algorithm in this thesis is non dominated sorting genetic algorithm (NSGA II) that shows solutions of problem in terms of Pareto front.

Finally the proposed method is implemented on two test systems for two different scenarios: without DG and with DG, to demonstrate performance of the proposed method. Results of the simulation for the two different scenarios show the impact of DGs on power distribution network as well as effectiveness of the proposed algorithm.

Keywords: Distribution Network Distributed generation, Non Dominated Sorting Genetic Algorithm, Reliability, DG Allocation, Reconfiguration, Energy Not Supplied.



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical and Robotic Engineering
M.Sc.Thesis

Reconfiguration in Distribution Network in Presence of Distributed Generation Resources with the Aim of Reliability Improvement

Fazel Abbasi

Supervisor:
Dr. Mehdi Banejad

Advisor:
Dr. Rahmat-Allah Hooshmand

2013